UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CÂMPUS DE RIO CLARO

INFLUÊNCIA DA PETROGRAFIA SOBRE A ANISOTROPIA À TENSÃO DE COMPRESSÃO E DILATAÇÃO TÉRMICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Fabiano Cabañas Navarro

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

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

Rio Claro, SP

- maio de 2006 -

552 Navarro, Fabiano Cabañas
N322i Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais / Fabiano Cabañas Navarro. – Rio Claro : [s.n.], 2006
179 f. : il. gráfs., tabs., quadros

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antonio Carlos Artur

1. Análise Petrográfica. 2. Rochas para revestimento. 3. Compressão uniaxial. 4. Dilatação térmica. 5. Anisotropia I. Título.

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

Comissão Examinadora

Antonio Carlos Artur (orientador)

Antenor Braga Paraguassú

José Eduardo Rodrigues

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá

Peter Christian Hackspacher

Rio Claro, 19 de maio de 2006.

Resultado: APROVADO

PROCESSIONE

Furtive distanze
Di mani in preghiera
Processioni illuminate
Quando il sole è muto
Tu bambino scalzo
Guardami
Dammi la speranza
Indicami l'avventura
Della natura in festa
Segna il minuto
Della preghiera continua
Abbracciami forte
Per tenermi qui

Grazia Geiger

“Não há ciência pura e ciência aplicada, há ciência e aplicações da ciência”.

Pasteur

AGRADECIMENTOS

A filosofia me ensinou que o efêmero é a regra na terceira dimensão, mas também ensinou que as marcas produzidas durante o conjunto de processos que se chama vida são eternas, por mais que o cérebro tente apagá-las jogando-as no esquecimento. Fecha-se, com a presente Tese, um ciclo de trabalho de onze anos, iniciado em 1995 com o Curso de Graduação em Geologia. Após esses intensos anos vividos na UNESP, dos quais dez aprendendo com as rochas ornamentais, me vejo no dever de rever alguns pontos de minha vida profissional. Talvez a parte de agradecimentos de um trabalho seja a mais importante, e não por menos, a mais difícil. Aqui pode-se cometer toda espécie de injustiça, se nos deixarmos trair pela memória ou pela nossa vaidade. Por reconhecer a importância das muitas pessoas que estiveram envolvidas direta ou indiretamente devo agradecer a todos, mesmo aos que por ventura não tenham sido citados.

O primeiro agradecimento, sem dúvida, vai à minha família, Telma e Juan (e também o Nicolás que está chegando), que atuam como esteio máximo em todos os momentos das minhas empreitas, sempre apoiando como podem e compreendendo as situações em que me envolvo, com suas fortes exigências.

Ao orientador, que ao longo dos anos transgrediu o status formal e tornou-se amigo e parceiro de trabalho, pela orientação sempre pronta, pelas críticas (sempre construtivas) e ensinamentos, especialmente em petrografia.

Ao Dr. Celso Charuri, pelo exemplo de Vida e sobretudo pela Filosofia.

Aos professores da UNESP Antenor Zanardo, Eberhard Wernick, Marcos Aurélio, Margarita Moreno e Tamar Galembeck pela prontidão para as discussões técnicas nas inúmeras vezes em que foram solicitados. Aos Profs. Peter C. Hackspacher e Luiz Simões e aos colegas de pós, Harrizon Lima de Almeida e Walter T. Oliveira Jr. pelo apoio com os métodos de análise textural em platina universal e raios X, e pelas discussões sobre a interpretação dos dados obtidos. Também ao Samuel Nunes Ferreira pela colaboração com a bibliografia sobre a maravilhosa geologia da região de Candeias, MG.

Aos técnicos da UNESP Adilson José Rossini e Nelson Pereira Lunardi Jr. pela indispensável contribuição para o preparo de corpos-de-prova e lâminas delgadas, respectivamente, indispensáveis ao desenvolvimento do trabalho.

A galera da PTS pelo convívio e pela amizade que perdura após os “anos de trovão”.

Ao Prof. Dr. Siegfried Siegesmund (Georg-August-Universität, Alemanha), cujo contato ocorreu graças ao Prof. Peter, pelos artigos fornecidos e pela decisiva influência na linha de pesquisa desenvolvida.

Aos colegas do IPT, Eduardo Quitete, Mirian Cruxen, Priscila M. Leal e Mariana Zuquim, pelo apoio e incentivo especialmente na fase final. Também ao Fábio Conrado pelas verificações da dilatação na "hora H". À Heloísa Frascá pela preciosa revisão e pelos extensos diálogos sobre o comportamento das rochas quando em uso.

A todas as empresas visitadas em São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Paraíba e Rio Grande do Norte que contribuíram com apoio aos trabalhos de campo e em alguns casos com a remessa de amostras para o laboratório: Betogran Mineração, Braminas, Caldas Gran, Cava Brasil, Cláudio Holanda Mineração, Da Paz, Emigran, Emon, Enagran, Fuji Granitos, Gêmeos Engenharia Ltda., Gramacap, Gramazini, Granita, Granasa/Granservice, Gutimpex, Mineração Coto, Mineração Lavra dos Verdes, Mineração Santa Clara, Moredo Granitos, Pedreira São Bento de Araraquara, Poli Granitos, Skala Granitos e Mármores, Somibrás e também à Brasvit pelo envio de amostras do Quartzito Imperial Blue. Agradeço também a Maria do Carmo Rodrigues Medeiros, a Nininha, da SUDEMA (Superintendência de Administração do Meio Ambiente) e a José Soares de Brito, da CDRM (Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba), pelo apoio e acompanhamento nas etapas de campo na Paraíba e Rio Grande do Norte.

À FAPESP pela bolsa concedida através do processo 02/03363-2.

Talvez o grande mistério que nos faz executar obras dispendiosas como teses seja o prazer de chegar ao final e pensar que se começasse novamente faria tudo de novo e melhor...

SUMÁRIO

Índice ……..……..……..…… ii

Índice de Figuras ……. iv

Índice de Tabelas ……..… viii

Resumo …… x

Abstract ……... xi

1. Introdução ……..…..…… 1

2. Métodos de Trabalho ……..……..……..…… 4

3. Considerações Gerais do Setor de Rochas Ornamentais e para Revestimento …..…. 20

4. Propriedades Tecnológicas das Rochas Ornamentais ……..…… 25

5. Materiais Estudados …… 33

6. Caracterização Petrográfica …… 51

7. Microfissuramento e Alteração Mineral ……..… 96

8. Orientação Cristalográfica Preferencial ……..……..…… 110

9. Caracterização Tecnológica ……..……..……..…. 122

10. Integração dos Dados Petrográficos e Tecnológicos …… 141

11. Conclusões e Recomendações ……..……..……..…… 164

12. Referências Bibliográficas …… 166

ANEXOS I e II

ÍNDICE

1. Introdução ……..…… 1
1.1. Apresentação do Tema …… 1
1.2. Objetivos ……. 3

2. Métodos de Trabalho ……..……..……..…… 4
2.1. Revisão Bibliográfica ……..……..……..……..…… 4
2.2. Seleção e Coleta de amostras ……..……..……..……..… 5
2.3. Sistema de Referência para Anisotropia ……..……..……..…… 5
2.4. Caracterização Petrográfica ……..…… 6
2.4.1. Quantificação do Microfissuramento e da Área Alterada ……..… 8
2.5. Orientação Cristalográfica Preferencial ……..……..…… 9
2.6. Ensaios Tecnológicos ……..……..……..…… 12
2.6.1. Rotina para Obtenção dos Dados Petrográficos e Tecnológicos ……..…. 13
2.6.2. Determinação dos Índices Físicos e da Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais ……..……. 13
2.6.3. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear ……..……. 16
2.6.4. Resistência à Compressão Uniaxial ……..……..…… 18
2.7. Tratamento dos Dados ……..……...…… 19

3. Considerações Gerais do Setor de Rochas Ornamentais e para Revestimento ……..…. 20

4. Revisão Conceitual ……..……. 25

5. Materiais Estudados …… 33
5.1. Rochas Selecionadas ……..……..…… 33
5.2. Localização e Contexto Geológico das Rochas Selecionadas …… 35
5.2.1. Rochas do Estado de São Paulo …… 35
5.2.2. Rochas do Estado de Minas Gerais ……..……..……. 40
5.2.3. Rochas do Estado do Espírito Santo ……..……..……..……. 45
5.2.4. Rocha do Estado da Bahia ……..……...…… 47
5.2.5. Rocha do Estado da Paraíba ……..…… 48

6. Caracterização Petrográfica 51
6.1. Rochas Carbonáticas 53
6.2. Rochas Quartzosas 55
6.3. Rochas Feldspáticas 60
6.4. Rochas Quartzo-Feldspáticas 69

7. Microfissuramento e Alteração Mineral 96

8. Orientação Cristalográfica Preferencial 110
8.1. Rochas Carbonáticas 110
8.2. Rochas Quartzosas 110
8.3. Rochas Feldspáticas 114
8.4. Rochas Quartzo-Feldspáticas 114

9. Caracterização Tecnológica 122
9.1. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear 122
9.2. Resistência à Compressão Uniaxial 130

10. Integração dos Dados Petrográficos e Tecnológicos 141
10.1. Anisotropia do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear 142
10.2. Anisotropia da Resistência à Compressão Uniaxial 152
10.3. Comentários Adicionais 161

11. Conclusões e Recomendações 164

12. Referências Bibliográficas 166

ANEXO I: Dados de Dilatação Térmica, Índices Físicos e Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

ANEXO II: Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Sistema de coordenadas *xyz*. A) referência aos elementos de anisotropia macroscopicamente visíveis foliação e lineação mineral e B) correspondência com a denominação informal …… 6

Figura 2.2: Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa …….. 7

Figura 2.3: Seqüência da quantificação do microfissuramento e da porcentagem de área alterada com o programa computacional Leica Q500Win©, utilizado neste trabalho …… 10

Figura 2.4: Microscópio Leinz equipado com platina universal utilizado para medida da orientação cristalográfica preferencial das rochas estudadas. A) vista geral B) detalhe …….. 11

Figura 2.5: Orientação ótica de cristais de feldspatos potássicos e plagioclásios ……. 12

Figura 2.6: Fluxograma dos ensaios realizados ……..……..… 14

Figura 4.1: Relação entre eixos óticos (na, nß, n?) e cristalográficos (a, b e c) e Vp calculada (?) para quartzo (A), plagioclásio (B), hornblenda (C), moscovita e biotita (D) 28

Figura 4.2: Relação entre eixos óticos (na, nß, n?) e cristalográficos (a, b, c) e condutividade térmica calculada (?) para quartzo (A), plagioclásio (B) e moscovita (C) . 28

Figura 4.3: Esquema dos principais tipos de defeitos planares em agregados cristalinos naturais ……..……..……..… 30

Figura 4.4: Projeção estereográfica (diagrama de igual área) de eixos *c* de grãos de quartzo e sua relação com a foliação (S) e lineação (L) ……..…… 31

Figura 5.1: Principais unidades litoestruturais do embasamento cristalino e centros de mineração de rochas ornamentais do Estado de São Paulo (ARTUR et al., 2004), com localização das amostras coletadas …… 36

Figura 5.2: Aspectos gerais da lavra das rochas Azul Fantástico (A), Preto Piracaia (B), Vermelho Bragança (C), Preto Apiaí (D), Vermelho Capão Bonito (E), Rosa Itupeva (F) e Arenito Silicificado (G) ……..…… 37

Figura 5.3: Esboço do contexto geológico das amostras coletadas nos Centros Produtores de Rochas Ornamentais Ouro Preto, Candeias e Caldas do Estado de Minas Gerais (modificado de COMIG, 1999) …… 41

Figura 5.4: Aspectos gerais das lavras dos tipos Quartzito Ouro Preto (A), Verde Camacho (B), Verde Candeias (C), Verde Maritaca (D), Jacarandá Rosado (E), Marrom Café Imperial (F) e Marrom Caldas (G) ……..……. 44

Figura 5.5: Esboço geológico do Estado do Espírito Santo (modificado de IPT, 1993) com a localização aproximada das amostras coletadas ……..……..……..… 46

Figura 5.6: Lavras dos mármores Cintilante Mesclado e Extra (A) e do granito Preto São Gabriel (B) ……..……. 46

Figura 5.7: Contexto geológico da amostra Imperial Blue. (Mapa geológico de parte da Serra do Espinhaço setentrional, Bahia. (Modificado de Schobbenhaus, 1996) …… 47

Figura 5.8: Lavra do quartzito Imperial Blue em Oliveira dos Brejinhos, BA …… 48

Figura 5.9: Contexto geológico da amostra Azul Sucuru (modificado de CPRM, 2000) …… 49

Figura 5.10: Aspecto geral da jazida do granito Azul Sucuru …… 50
Figura 6.1: Agrupamento das rochas selecionadas com base em critérios mineralógicos e genéticos, e atributos estruturais e texturais …… 51
Figura 6.2: Classificação das rochas feldspáticas e quartzo-feldspáticas estudadas no diagrama QAP …… 52
Figura 6.3: Aspectos macro e microscópico (polarizadores paralelos) dos mármores Cintilante Mesclado (CM) e Extra (EX) …… 54
Figura 6.4: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Arenito Silicificado, Imperial Blue e Quartzito Ouro Preto …… 57
Figura 6.5: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Marrom Café Imperial (MCF), Marrom Caldas (MCD), Preto Apiaí (PA) e Preto Piracaia (PP) …… 63
Figura 6.6: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Azul Fantástico (AF), Azul Sucuru (AZS), Jacarandá Rosado (JR) e Kashimir (KA) …… 71
Figura 6.7: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas das rochas Preto São Gabriel (PSG), Rosa Itupeva (RI), Verde Camacho (VCM) e Verde Candeias (VCD) …… 73
Figura 6.8: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas das rochas Verde Maritaca (VM), Verde Veneciano (VV), Vermelho Bragança (VB) e Vermelho Capão Bonito (VCB) …… 75
Figura 7.1: Detalhe de óxidos e hidróxidos de ferro presentes no Arenito Silicificado, à esquerda, e no quartzito Imperial Blue, à direita (Polarizadores paralelos) ……. 97
Figura 7.2: Feições de dissolução para os mármores Cintilante Mesclado, à esquerda, e Extra, à direita (Polarizadores paralelos) …… 97
Figura 7.3: Histograma de porcentagem de área alterada para as rochas estudadas (média para três seções) …… 100
Figura 7.4: Detalhe da alteração de feldspatos nas rochas Marrom Caldas (A), Marrom Café Imperial (B), Azul Sucuru, (C), Kashimir (D); Rosa Itupeva (E), Vermelho Bragança Paulista (F), Vermelho Capão Bonito (G) e Verde Candeias (H). A, B e C com polarizadores paralelos; D, E, F, G e H com polarizadores cruzados.…. 101
Figura 7.5: Intensidade de microfissuras (barras) e comprimento médio de microfissuras (linha) das rochas estudadas. (média de três seções delgadas) ……. 102
Figura 7.6: Correlação entre o coeficiente de variação do comprimento (CV_c) e o comprimento médio de microfissuras (Mc) para as rochas estudadas …… 102
Figura 7.7: Relação entre porcentagem de área alterada (Aw) e coeficiente de variação do comprimento médio de microfissuras (CV_c) para as rochas estudadas ….. 104
Figura 7.8: Relação entre comprimento médio de microfissuras (Mc) e intensidade de microfissuras (Mi) para as rochas estudadas. A dimensão das esferas representa a área alterada (valor em porcentagem) …… 105
Figura 7.9: Gráfico de regressão linear para dados de porcentagem mineral e intensidade de microfissuras (Mi). (As rochas carbonáticas não foram consideras) … 106
Figura 7.10: Gráfico de regressão linear para dados de porcentagem mineral e porcentagem de área alterada (Aw). (As rochas carbonáticas não foram consideras) … 106

Figura 7.11: Blocos-diagramas da distribuição espacial relativa ao sistema *xyz* das principais famílias de microfissuras para as rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas estudadas. …… 108

Figura 7.12: Blocos-diagramas da distribuição espacial relativa ao sistema *xyz* das principais famílias de microfissuras das rochas quartzo-feldspáticas estudadas …… 109

Figura 8.1: Diagramas de pólo de eixos *c* de dolomita para os mármores Cintilante Mesclado (coluna A) e Extra (coluna B). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior ……..…..…. 111

Figura 8.2: Fotomicrografia do quartzito IB evidenciando o acamamento sedimentar (bandamento textural - S_0) e a foliação metamórfica S_1 ……. 112

Figura 8.3: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzosas estudadas Imperial Blue (coluna A) e Quartzito Ouro Preto (coluna B). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior ……. 113

Figura 8.4: Esquema geral da orientação cristalográfica preferencial (OCP) do feldspato potássico para as rochas feldspáticas Marrom Café Imperial (linha A) e Marrom Caldas (linha B) …… 115

Figura 8.5: Esquema geral da orientação cristalográfica preferencial (OCP) plagioclásio para as rochas feldspáticas Preto Apiaí (linha A) e Preto Piracaia (linha B) …… 116

Figura 8.6: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Azul Fantástico (linha A), Azul Sucuru (linha B) e Jacarandá Rosado (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior ….…….…… 117

Figura 8.7: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Kashimir (linha A), Preto São Gabriel (linha B) e Rosa Itupeva (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior …….. 118

Figura 8.8: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Vermelho Bragança (linha A), Vermelho Capão Bonito (linha B) e Verde Camacho (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior ….…. 119

Figura 8.9: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Verde Candeias (linha A), Verde Maritaca (linha B) e Verde Veneciano (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior ….…….…… 120

Figura 8.10: Superfície serrada do granito Rosa Itupeva (RI) após ensaio de coloração seletiva de feldspatos. A linha azul marca o sentido geral da foliação de fluxo e as linhas vermelhas marcam a orientação do eixo *c* do feldspato potássico. Notar o quartzo em posição intersticial …… 121

Figura 9.1: Valores de coeficiente de dilatação térmica linear (ß) máximo, médio e mínimo para os grupos litológicos estudados ……. 125

Figura 9.2: Média (ß – barras) e anisotropia do coeficiente de dilatação térmica linear (Aß - linha) para as rochas estudadas ……. 125

Figura 9.3: Histograma dos coeficientes de dilatação térmica lineares (ß) obtidos. Valores médios entre parênteses e anisotropia entre colchetes. Siglas conforme Tabela 5.1 …… 126

Figura 9.4: Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e porosidade aparente (?) para cada grupo de rochas estudado ……..…….…..… 127

Figura 9.5: Correlação entre os valores médios de coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e porosidade aparente (?) para as rochas estudadas (exceto amostra AS) ….. 128

Figura 9.6: Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) obtidos nos corpos-de-prova nas condições seca e saturada em água, antes do ensaio de dilatação ……..…. 128

Figura 9.7: Gráfico mostrando a variação da velocidade de ondas longitudinais (Vp) durante o ensaio de dilatação térmica para os grupos estudados (parte superior) e esquema geral do comportamento observado ……..… 129

Figura 9.8: Valores médios de tensão à compressão (s) em estado seco e saturado e de velocidade de ondas ultra-sônicas (Vp) e para os grupos estudados ……..…. 134

Figura 9.9: Correlação entre tensão à compressão uniaxial (s) e velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) para amostras na condição seca e saturada .…… 135

Figura 9.10: Correlação entre velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade (?) ……..…..… 135

Figura 9.11: Correlação entre velocidade de ondas longitudinais (Vp) e resistência à compressão uniaxial (s) nas condições seca e saturada para cada grupo de rocha estudado …….…….……. 136

Figura 9.12: Anisotropia da resistência à compressão uniaxial (As) para corpos-de-prova na condição seca (coluna cheia) e saturada em água (coluna com hachura) …… 139

Figura 9.13: Anisotropia da velocidade de ondas ultra-sônicas (AVp) para corpos-de-prova na condição seca (coluna cheia) e saturada em água (coluna com hachura) …… 139

Figura 9.14: Correlação entre os coeficientes de enfraquecimento da tensão pela água (Ks) e de incremento do Vp (K_{Vp}) …….…….…… 140

Figura 10.1: Gráfico de análise discriminante para as rochas estudadas, considerando as variáveis dilatação térmica, Vp e porosidade …… 143

Figura 10.2: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e porcentagens de quartzo e feldspato. (valores médios as rochas silicáticas estudadas) .. 144

Figura 10.3: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e somatória das porcentagens de quartzo e biotita (? QzBt) e somatória das porcentagens de feldspato potássico e plagioclásio (? FKPl), considerando todas rochas silicáticas ….. 144

Figura 10.4:Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß), intensidade de microfissuras (Mi) e comprimento médio de microfissuras (Mc). (valores médios para cada rocha estudada) …….…….……..… 145

Figura 10.5: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e porcentagem de área alterada (Aw). (valores médios para cada rocha estudada) …… 145

Figura 10.6: Sistema de microfissuras (setas vermelhas) observável no plano *xz* dos dolomita mármores Cintilante Mesclado - CM (esquerda) e Extra - EX (direita). (Polarizadores paralelos) …… 146

Figura 10.7: Regressão linear entre anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (Aß) e intensidade de microfissuras (Mi) para todas as rochas silicáticas (à esquerda) e para as rochas quartzo-feldspáticas (à direita) …… 146

Figura 10.8: Regressão linear entre anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (Aß) e intensidade de microfissuras (Mi) para as rochas com predomínio de granulação fina a média-fina (acima) e média a grossa (abaixo) …… 148

Figura 10.9: Evidência da descontinuidade planar pela foliação (observada no plano *xz*) dos quartzitos Imperial Blue - IB (esquerda) e Quartzito Ouro Preto - QOP (direita). (Polarizadores cruzados) …….……..… 149

Figura 10.10: Contatos serrilhados e côncavo-convexos (esquerda) e microfissuramento em fenocristal de quartzo (direta) do granito Vermelho Bragança - VB. (Polarizadores cruzados) …… 151

Figura 10.11: Análise discriminante para as rochas estudadas, considerando as variáveis resistência à compressão na condição seca, Vp e porosidade. A) Agrupamento por grupo litológico; B) Agrupamento por eixos de anisotropia do sistema de referência *xyz*; C) Agrupamento por classe de granulação; D) Agrupamento por granulação relativa …… 154

Figura 10.12: Fotomicrografias (polarizadores cruzados) de algumas das rochas quartzo-feldspáticas estudadas representando o aumento da resistência à compressão em função da diminuição da granulação e do aumento do imbricamento mineral. As está em amarelo (A) …… 156

Figura 10.13: Anisotropia da resistência (em condição seca) para as rochas silicáticas de granulação fina e média-fina (acima) e granulação média a grossa (abaixo) …… 159

Figura 10.14: Fotomicrografias em lupa petrográfica (polarizadores cruzados) mostrando a fraca orientação mineral preferencial do tipo Kashimir – KA (à esquerda) e a foliação pouco evidente do tipo Preto São Gabriel – PSG (à direita) ……..…….… 160

Figura 10.15: Fotomicrografias em lupa petrográfica (polarizadores cruzados) evidenciando a baixa orientação preferencial mineral no tipo Azul Fantástico – AF (à esquerda) e a foliação do tipo Jacarandá Rosado – JR (à direita) ……... 161

Figura 10.16: Representação esquemática de algumas informações petrográficas (mineralogia essencial, granulação relativa e estruturas presentes) dos grupos de rochas estudadas e das anisotropias do coeficiente de dilatação térmica linear, entre ( ), e da resistência à compressão na condição seca, entre [ ]. As siglas das amostras estão na Tabela 5.1 …… 163

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Distribuição da produção de rochas ornamentais por regiões e estados brasileiros em 2004 ……..… 22

Tabela 4.1: Anisotropia à velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais de alguns minerais formadores de rochas …… 27

Tabela 5.1: Tipos litológicos selecionados e estudados neste trabalho ……..…. 34

Tabela 6.1: Síntese de descrição petrográfica para as rochas carbonáticas analisadas ... 53

Tabela 6.2: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzosas analisadas ….. 56

Tabela 6.3: Síntese de descrição petrográfica para as rochas feldspáticas analisadas … 61

Tabela 6.4A: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas analisadas …… 70

Tabela 6.4B: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas analisadas (*continuação*) …… 72

Tabela 6.4C: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas 74

analisadas (*continuação*) ……

Tabela 7.1: Parâmetros adotados para classificação do microfissuramento e da alteração mineral, com base nos valores médios obtidos para o conjunto de rochas estudadas …….. 96

Tabela 7.2: Síntese dos dados de microfissuramento e alteração mineral para as rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas estudadas …… 98

Tabela 7.3: Síntese dos dados de microfissuramento e alteração mineral para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas …… 99

Tabela 9.1: Dados de velocidade de ondas longitudinais nas condições seca e saturada, antes e após o ensaio de dilatação, coeficiente de dilatação térmica linear e porosidade aparente, para as rochas carbonáticas, feldspáticas e quartzosas estudadas . 123

Tabela 9.2: Dados de velocidade de ondas longitudinais nas condições seca e saturada, antes e após o ensaio de dilatação, coeficiente de dilatação térmica linear e porosidade aparente, para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas ……..…… 124

Tabela 9.3: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas carbonáticas e quartzosas estudadas nas condições seca e saturada em água ……. 130

Tabela 9.4: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas feldspáticas estudadas nas condições seca e saturada em água …… 131

Tabela 9.5 A: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas nas condições seca e saturada em água …… 132

Tabela 9.5 B: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas nas condições seca e saturada em água. *(continuação)* …… 133

Tabela 9.6: Valores médios para cada eixo das propriedades tecnológicas estudas para as rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas ……..……..……..… 137

Tabela 9.7: Valores médios para cada eixo das propriedades tecnológicas estudas para as rochas quartzo-feldspáticas ……. 138

Tabela 10.1: Comparação entre classes de intensidade de microfissuramento e de alteração, médias de coeficiente de dilatação térmica, anisotropia à dilatação e granulação média para as rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas ……..……..… 147

Tabela 10.2: Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis petrográficas e a resistência à compressão uniaxial na condição seca …… 153

Tabela 10.3: Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis petrográficas e a resistência à compressão uniaxial na condição saturado …… 155

Tabela 10.4: Comparação entre classes de intensidade de microfissuramento e de alteração, médias de tensão de compressão, anisotropia à compressão em condição seca e granulação para as rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas ……..……. 158

RESUMO

Considerando um conjunto de 21 tipos de rochas utilizadas como revestimento e subdivididas em quatro conjuntos por afinidade da composição mineral (rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas) foram realizados ensaios tecnológicos para a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear e da resistência à compressão uniaxial, bem como a anisotropia dessas propriedades. Os dados tecnológicos obtidos foram correlacionados com informações petrográficas qualitativas e quantitativas referentes à composição mineral, variações texturais e estruturais determinadas em seções ortogonais entre si a partir de um sistema de referência (*xyz*) baseado na foliação e lineação macroscopicamente visíveis. A análise integrada dos dados utilizando estatística convencional e multivariada procurou apontar as variáveis petrográficas mais relevantes para as duas propriedades tecnológicas enfocadas e suas respectivas anisotropias. A dilatação térmica e sua anisotropia são influenciadas principalmente pela composição mineral e pela orientação preferencial dos minerais embora as microfissuras desempenhem papel importante em alguns casos. A tensão de compressão mostra sua variabilidade e anisotropia influenciadas pela granulação média, tipos de contatos minerais predominantes e padrões de microfissuras mais ou menos definidos por influência da foliação presente. Constatou-se que no conjunto analisado a presença da foliação não implica necessariamente em anisotropia das duas propriedades estudadas.

Palavras-Chave: 1. Análise Petrográfica. 2. Rochas para revestimento. 3. Compressão uniaxial. 4. Dilatação térmica. 5. Anisotropia

ABSTRACT

Title: Influence of Petrography to Linear Thermal Expansion and Compressive Strength Anisotropies for Dimesnion Stones.

The anisotropy of thermal expansion coefficient and compressive tensile strength were determined for 21 commercially used stones gathered in four set according the main mineral composition named carbonatic, quartz-rich, feldspar-rich and quartz-feldspar-rich rocks. Using a coordinate reference system (*xyz*) based on the macroscopic visible foliation and lineation the samples were submitted to normalized laboratorial analyses for determination of the both technological properties and the petrographical features such as mineral composition, texture and fabric. Additionally was carried out measurements of weathered area and microcrack quantification by image analysis and texture quantification by U-stage methods. In order to understand the relationship between the anisotropy measured and petrographical data it was applied traditional and multivariate statistical analysis. The results pointed to the great significance of mineral composition and the crystallographic preferred orientation for thermal expansion and respective anisotropy, especially to monomineralic and/or foliated rocks, in spite of some cases microcracks play this role. The compressive strength is mainly controlled by a complex interaction between grain size distribution, grain boundary and microcrack patterns related or not to foliation.

Key-Words: 1. Petrographic analysis. 2. Dimension Stones. 3. Uniaxial Compressive Strength. 4. Thermal Expansion. 5. Anisotropy

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Tema

O grande fator motivador do estudo das propriedades tecnológicas de rochas para revestimento é, sem dúvida, o significado que representam para a aplicação do material em obras de engenharia e do valor comercial embutido nesse contexto, além de constituir em tema técnico e científico. De qualquer forma, seguindo o princípio de conhecer o material pétreo para utilizá-lo, é necessário determinar suas propriedades tecnológicas e relacioná-las com as propriedades petrofísicas definidas pelo trinômio composição, textura e estrutura, presentes em qualquer rocha independentemente de sua origem.

A aplicação de rochas com função de revestimentos de obras civis tem mostrado expressivo crescimento nos últimos anos, em parte resultado do surgimento de novos materiais e novas tecnologias que permitiram ganho considerável de produtividade e qualidade, com conseqüente queda do preço. Esse incremento, mais perceptível ao longo da década de 90, proporcionou condições favoráveis para o surgimento de novas tendências arquitetônicas que valorizaram e priorizaram o uso da pedra para revestimento de obras civis, por ser uma opção de acabamento que além de proteger a fachada, agrega estilo e nobreza à edificação com padrões estéticos exclusivos na maioria dos casos.

A oferta e a demanda por materiais rochosos para revestimentos fizeram surgir no mercado uma variada gama de novos produtos que hoje, somente no Brasil, somam aproximadamente 600 tipos comerciais, provenientes de cerca de 1.500 jazidas (CHIODI FILHO, 2005), abrangendo tipos petrográficos como granitos, mármores, quartzitos, ardósias, basaltos, serpentinitos, conglomerados, calcários, arenitos e outros. Apenas em 2004 surgiram no mercado brasileiro cerca de 100 novos tipos de rochas, com destaque especial para rochas pegmatóides e cálcio-silicáticas, devido ao aspecto exótico que apresentam (DNPM, 2005).

As aplicações são diversas, abrangendo estatuária, arte funerária, peças especiais (balcões, fontes, colunas, entre outros) sendo em sua maioria utilizado no revestimento de fachadas, paredes e pisos de interiores e exteriores de edificações. O acabamento polido é tradicional e preferencialmente utilizado, mas os tipos levigado[1], flameado[2] e apicoado[3] têm sido mais freqüentes nos projetos arquitetônicos que se valem da característica antiderrapante desses últimos para aplicações em exteriores, tanto em pisos quanto fachadas.

A durabilidade de uma rocha depende de uma complexa interação entre suas propriedades intrínsecas, englobadas pela composição mineral, textura e estrutura, e os agentes extrínsecos que correspondem a todos agentes solicitantes dos processos de lavra, beneficiamento, acabamento e instalação. Depois de instaladas outros fatores extrínsecos atuam sobre as rochas, tais como variações sazonais e diárias da umidade e temperatura, agentes químicos provenientes de produtos de limpeza e/ou atmosferas agressivas (básicas, ácidas ou salinas), além de esforços mecânicos e atrito (FRASCÁ, 2004).

Considere-se ainda, conforme muito bem salientado por Aires-Barros (1991), que as propriedades intrínsecas das rochas devem-se a combinações específicas de pressão e temperatura características do ambiente de geração de cada tipo de rocha (magmática, sedimentar ou metamórfica) e que resultam em múltiplos arranjos mineralógicos, texturais e estruturais que definem as rochas. Desde sua gênese, as rochas estão sujeitas a esforços e mudanças de caráter químico durante os processos de exumação e intemperismo, conforme os agentes físicos e químicos de cada ambiente. A sucessão de eventos e sobreposição de processos resulta em materiais que podem ter características físicas e mecânicas muito variadas, que consequentemente apresentam comportamentos diferentes perante as solicitações das etapas de lavra, beneficiamento e aplicação, utilização e manutenção.

Define-se então um cenário paradoxal quanto ao uso e aplicação de rochas, onde por um lado a oferta de tecnologia de processos existentes contribui para o aumento da demanda do uso da rocha (especialmente em revestimentos) e por outro o risco de aplicações errôneas devido ao desconhecimento das interações entre características petrográficas, propriedades tecnológicas e ambientes de aplicação. Assim, fica patente a necessidade de compreender tais relações por meio de trabalhos que considerem a influência das variáveis composicionais, texturais e estruturais das rochas frente às solicitações que podem ser submetidas, visando à aplicação correta da rocha e valorizando-a como elemento de acabamento.

---

[1] superfície plana como a polida, mas ainda áspera e sem brilho (etapa anterior ao polimento).
[2] superfície irregular produzida por choque térmico com uso conjunto de um jato de chama e água.
[3] superfície irregular, rústica, produzida com ponteira de aço golpeada com martelo manual ou automático.

Este trabalho traz uma contribuição ao tema, procurando quantificar a anisotropia de um conjunto selecionado de rochas para revestimento quanto às propriedades tecnológicas tensão de compressão e dilatação térmica, relacionando na medida do possível a causa dessa anisotropia com as feições petrográficas.

1.2. Objetivos

O uso de rochas como revestimento no Brasil e no Mundo tem crescido largamente nos últimos anos. De modo geral nota-se que a seleção, instalação e manutenção de rochas seguem práticas pouco ou nada regulamentadas, baseadas mais no empirismo do que em aspectos técnicos. Como conseqüência há grande incidência de casos de deterioração de rochas (eflorescência, quebras, alterações minerais, desagregação, escarificação, mudanças de cor, esfoliação etc.) observados em obras nos mais diferentes contextos ambientais. A aplicação de rochas de forma inadequada pode causar sérios prejuízos econômicos, estéticos e, na hipótese mais grave, de segurança, como no caso de queda de placas de fachadas.

A caracterização tecnológica de rochas deve ser adotada como premissa para a seleção e utilização de rochas em obras civis. Visando atender a quesitos mínimos de durabilidade que uma obra exige, essas informações devem ser integradas e interpretadas à luz das características petrográficas (mineralogia, textura e estrutura).

Algumas das propriedades tecnológicas de um mesmo tipo rochoso podem variar de forma significativa por diferentes motivos, dentre os quais o estado de alteração, variações texturais e a presença de estruturas. A caracterização tecnológica, quando conduzida de forma adequada, possibilita avaliar as variações das propriedades tecnológicas aumentando o nível de informação para a execução de projetos e minimizando o risco de aplicação indevida e inadequada do material.

Nesse sentido o presente trabalho apresenta um extenso conjunto de dados de caracterização tecnológica e petrográfica de rochas selecionadas com o objetivo de:

- Verificar a variação (anisotropia) das propriedades relativas à tensão de compressão uniaxial e à dilatação térmica de um conjunto amplo de rochas que representam materiais utilizados no mercado nacional e internacional como elemento de revestimento;
- Estudar a influência das características petrográficas no tocante à mineralogia, textura e estrutura sobre a anisotropia dessas propriedades.

CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE TRABALHO

Para alcançar os objetivos pretendidos neste trabalho foram desenvolvidas diversas etapas de trabalho focadas na aquisição de dados tecnológicos e petrográficos utilizando métodos normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e procedimentos internos do Grupo de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, SP (UNESP).

A anisotropia das propriedades estudadas foi calculada tendo-se em vista no mínimo três determinações para cada ensaio considerado. As informações assim coligidas foram organizadas e analisadas utilizando-se métodos estatísticos, cujos resultados foram interpretados e discutidos à luz dos diversos dados petrográficos analisados.

2.1. Revisão Bibliográfica

Durante o período de desenvolvimento deste trabalho foram sistematicamente reunidos, lidos e consultados livros e artigos de periódicos nacionais e internacionais sobre as ocorrências geológicas estudadas, dados de mercado, aspectos conceituais referentes à caracterização petrográfica e textural e seus respectivos métodos de quantificação, bem como os métodos de ensaios tecnológicos utilizados.

A revisão de trabalhos sobre a anisotropia de propriedades em minerais e rochas, bem como os métodos de investigação utilizados foi realizada pela consulta de diversos artigos de periódicos e publicações especiais. O resultado é apresentado em síntese numa revisão comentado no Capítulo 4.

2.2. Seleção e Coleta de Amostras

Em acordo com os objetivos propostos foram selecionados 21 tipos de rochas, que compreenderam ampla gama de composições minerais, texturas e estruturas. Todos os tipos selecionados são usualmente aplicados como material para revestimentos e correspondem a materiais comercializados no mercado nacional e, principalmente, internacional.

A coleta de amostras ocorreu em trabalhos de campo que compreenderam visitas técnicas a empresas produtoras e suas respectivas frentes de lavra para observação do processo produtivo, sempre acompanhadas de funcionário das empresas que forneceram informações a respeito do processo de lavra e das variações estéticas comercializadas.

A representatividade dos materiais selecionados levou em conta o padrão estético de maior aceitação no mercado e o volume de amostras coletadas foi no mínimo de dois blocos cúbicos com 30 cm de aresta. Excepcionalmente alguns materiais foram enviados por empresas colaboradoras.

2.3. Sistema de Referência para Anisotropia

Para controle da anisotropia das características petrográficas e das propriedades físicas e mecânicas estudadas, adotou-se um sistema de coordenadas *xyz*, definido a partir da identificação da foliação e da lineação mineral macroscopicamente visíveis (Figura 2.1A). A presença de estruturas tais como acamamento sedimentar e bandamento textural ou composicional é assumida como equivalente ao plano de foliação no sistema considerado.

Nas situações em que a rocha não exibia foliação nítida, a aplicação do sistema de referência *xyz* foi realizada utilizando-se critérios informais de nomenclatura tradicionalmente usados nas minas de rochas ornamentais. A orientação para o desmonte de rochas em minas é direcionada a partir do reconhecimento de três planos designados como corrida, segundo e trincante, geralmente correspondentes ao sistema de fraturamento do maciço. No jargão mineiro entende-se como “corrida” o plano que oferece menor resistência ao uso de cunhas, ou seja, o plano em que a rocha se parte mais facilmente por acionamento mecânico. O plano do “trincante” refere-se àquele que oferece a maior resistência ao acionamento mecânico, enquanto o plano do “segundo” oferece resistência intermediária aos demais. Os termos corrida, segundo e trincante correspondem, respectivamente, aos termos *rift plane*, *grain plane* e *hardway plane*,

utilizados por Prikryl (2001). A Figura 2.1B representa a equivalência entre as duas classificações adotadas.

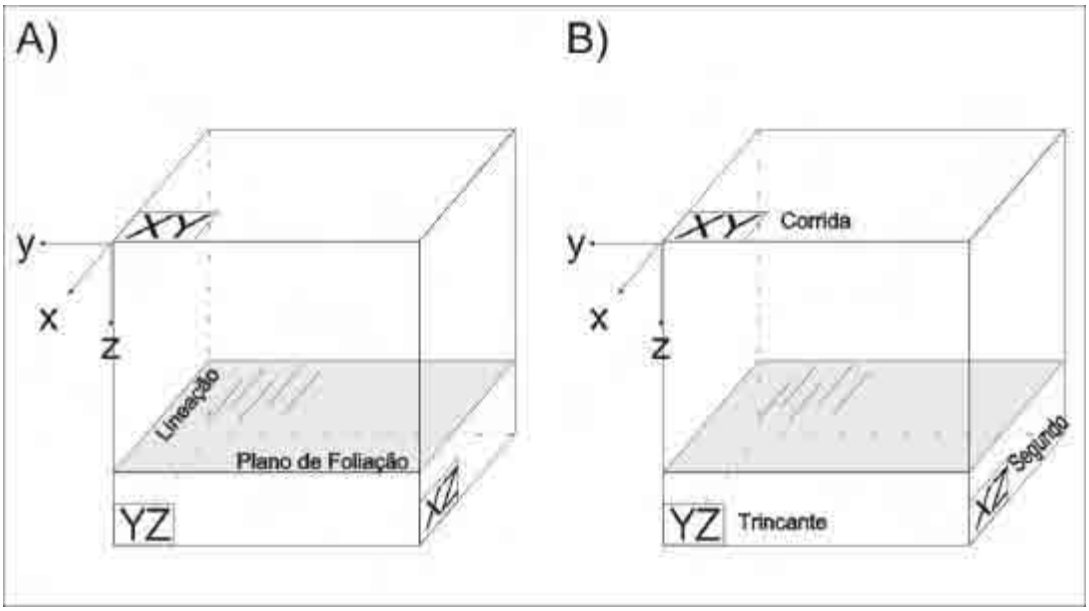


Figura 2.1: Sistema de coordenadas *xyz*. A) referência aos elementos de anisotropia macroscopicamente visíveis foliação e lineação mineral (modificado de STROHMEYER; SIEGESMUND, 2002), e B) correspondência com a denominação informal usada em minas.

A utilização desse sistema de referência é de fundamental importância para o desenvolvimento dos trabalhos, visto que os corpos-de-prova obtidos para os ensaios tecnológicos obedeceram ao mesmo critério, permitindo assim a análise detalhada das propriedades tecnológicas em função das direções de anisotropia assumidas nesse sistema.

2.4. Caracterização Petrográfica

Considerou a descrição petrográfica convencional, abordando descritivamente as feições composicionais, texturais e estruturais das rochas analisadas, conforme preconiza a norma NBR 12768 (ABNT, 1992a) adicionado das recomendações de Rodrigues et al. (1996, 1997) e Navarro (1998). O levantamento das informações petrográficas foi realizado qualitativamente e, sempre que possível, quantitativamente.

Para cada rocha estudada foram obtidas pelo menos três seções delgadas, com área de 2,5 cm x 4,0 cm e espessura de 0,3 µm, ortogonais a cada um dos eixos do sistema de coordenadas *xyz* adotado.

Utilizou-se um microscópio ótico binocular de luz transmitida da marca Olimpus® para as descrições petrográficas, e com um contador digital (marca Swift®) acoplado a esse microscópio, realizou-se a quantificação da mineralogia em pelo menos 700 pontos por seção. A classificação das rochas magmáticas seguiu os critérios de Le Maitre (1989), das metamórficas de Winkler (1976) e da sedimentar, Pettijhon (1975).

As principais feições petrográficas consideradas foram:

- ***grau de alteração:*** foram descritos os minerais mais afetados, os minerais secundários formados e a distribuição dos produtos de alterações sobre os cristais afetados. As áreas afetadas por alteração dos feldspatos e das micas foram quantificadas utilizando-se a técnica de análise de imagens;
- ***tamanho dos cristais:*** as dimensões médias dos cristais, em milímetros, foram avaliadas no microscópio ótico de luz transmitida, atribuindo-se as classes fina (< 1,0 mm), média-fina (entre 1,0 mm e 3,0 mm), média (entre 3,0 mm e 7,0 mm), média-grossa (entre 7,0 mm e 10,0 mm) e grossa (> 10,0 mm);
- ***relações de contato entre grãos minerais:*** foram considerados qualitativamente três tipos básicos: contatos plano, côncavo-convexo e serrilhado (Figura 2.2;

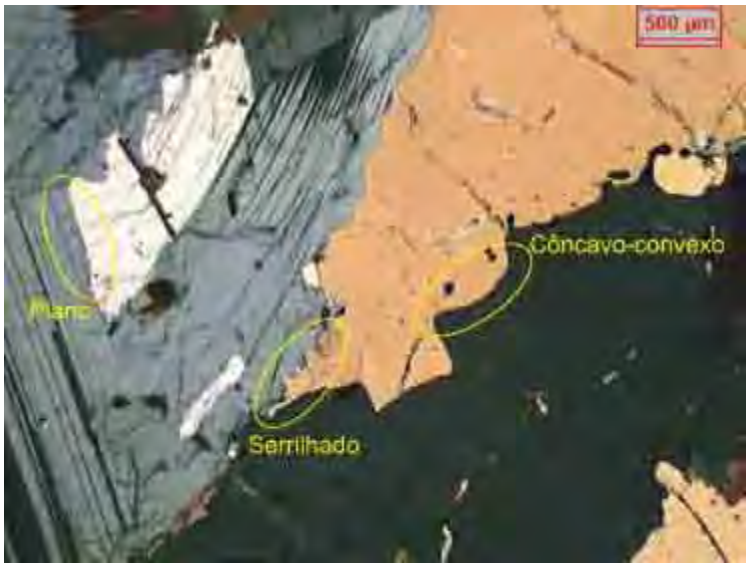


Figura 2.2: Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995).

- ***microfissuras****:* foram identificadas ao microscópio petrográfico e quantificadas por sistema de análise de imagens (número médio por unidade de área e comprimento médio dos planos). Adicionalmente, utilizando-se platina universal, foi avaliada a orientação preferencial dos principais sistemas de microfissuras da rocha, visando compreender a

distribuição espacial destes, com base nas considerações de Vollbrecht; Weber (1994), Passchier; Trouw (1996). Os dados obtidos foram dispostos em estereogramas;

- ***elementos microestruturais:*** foram descritos os principais elementos microestruturais presentes nos minerais essenciais das rochas analisadas, tais como extinção ondulante, lamelas de deformação, recristalização e outros, conforme revisão constante do Capítulo 4.

2.4.1. Quantificação do Microfissuramento e da Área Alterada

Tradicionalmente, o microfissuramento e a alteração mineral são considerados apenas qualitativamente, figurando em descrições petrográficas adjetivados por termos tais como incipiente, moderado e intenso, atribuídos de forma subjetiva e baseado essencialmente na experiência do profissional que descreve a rocha. A dificuldade de quantificação desses parâmetros está ligada principalmente à subjetividade dos critérios adotados e à morosidade dos métodos disponíveis.

Dada a importância dessas variáveis para o estudo e compreensão dos dados tecnológicos aqui considerados, houve especial atenção na quantificação desses parâmetros, tarefa desempenhada com auxílio de técnicas de análise de imagens, conforme descrito por Navarro et al. (2004; 2005).

A aplicação de sistemas de análise de imagens para a quantificação de características composicionais, texturais e microestruturais é cada vez mais utilizada em Geologia e diversos autores apresentaram diferentes métodos para diferentes aplicações (HEILBRONNER; PAULI, 1994; LLOYD, 1994; PASSCHIER; TROUW, 1996; HEILBRONNER, 2000; HERWEGH, 2000; PRIKRYL, 2001; ADRIANI; WALSH, 2002; ÅKESSON, 2003). No caso do estudo das rochas ornamentais esse tipo de técnica tem sido usado para avaliação de cores em placas polidas (MOTOKI et al. 2000, 2003, 2005; MOTOKI; ZUCCO, 2005) e de texturas (TORQUATO-BESSA, 2004; 2005; CAMPELLO et al. 2005), mas ainda é pouco desenvolvido e utilizado, se considerado o potencial de aplicações.

O sistema de análise de imagens utilizado nesta pesquisa para quantificação do microfissuramento e da área alterada, está alocado no DPM/UNESP - Rio Claro. Constitui-se de um microscópio petrográfico binocular de luz refletida e transmitida da marca Leica™ (modelo DMRX), ao qual está acoplada uma câmara de vídeo JVC™ modelo TK-C1380 com resolução 764 x 574 dpi, que captura as imagens observadas ao microscópio e as transmite para o computador, onde são processadas com o programa computacional Leica Q500Win©.

As imagens geralmente são gravadas em extensão .TIF ou .JPG para, em seguida, serem analisadas por meio de recursos automáticos (*rotinas*) ou manuais (marcação das feições com o uso do *mouse*), disponíveis no programa.

O princípio básico de funcionamento das *rotinas* é a detecção automática na imagem capturada de cores predefinidas, com base nos sistemas de tons de cinza ou RGB (*red, green, blue*). No passo seguinte utilizam-se ferramentas (extrusão; dilatação; erosão; esqueletização; entre outros) que permitem a correção de pequenas distorções ocorridas na etapa de detecção das feições de interesse e, finalmente, a mensuração automatizada da feição marcada (área; comprimento máximo; perímetro etc.). Quando as imagens são originárias de microscópio petrográfico com polarizadores cruzados ocorre que a cor de interferência de minerais diferentes é detectada pela *rotina* como um mesmo mineral, distorcendo drasticamente os resultados, e tornando esse recurso ineficiente nesse caso. Dessa forma, a mensuração das características desejadas (microfissuras ou áreas alteradas) foi realizada por meio manual, ou seja, utilizando-se as ferramentas de traço disponíveis no programa e realçando as feições de interesse com o *mouse*, para posterior quantificação automática, conforme seqüência na Figura 2.3. Detalhes do método utilizado podem ser vistos em Navarro et al. (2005).

Esse procedimento, embora algo moroso, tem como principal vantagem a diminuição da subjetividade das medidas tomadas, permitindo a quantificação de imagens com maior segurança e precisão, além da aquisição de um registro digital da imagem microscópica que pode ser trabalhado de maneira mais rápida e eficiente do que fotografias tradicionais, além de facilitar o arquivamento.

O desenvolvimento do método poderá resultar em procedimentos mais precisos e rápidos, que certamente devem considerar a aquisição e detecção automáticos.

2.5. Orientação Cristalográfica Preferencial

Para cada uma das seções confeccionadas foram obtidos dados de orientação cristalográfica preferencial com o auxílio de uma platina universal (Figura 2.4). Para as rochas quartzosas e quartzo-feldspáticas foram efetuadas medidas da orientação do eixo *c* dos cristais de quartzo, conforme procedimento descrito por autores como Kerr (1959), Wahlstrom (1960), Passchier; Trouw, (1996), e para os mármores considerou-se a dolomita, conforme procedimento descrito por Godoy et al. (1991). A quantidade de medidas efetuadas variou de 50 a 100, em função da granulação e estado de deformação dos cristais.

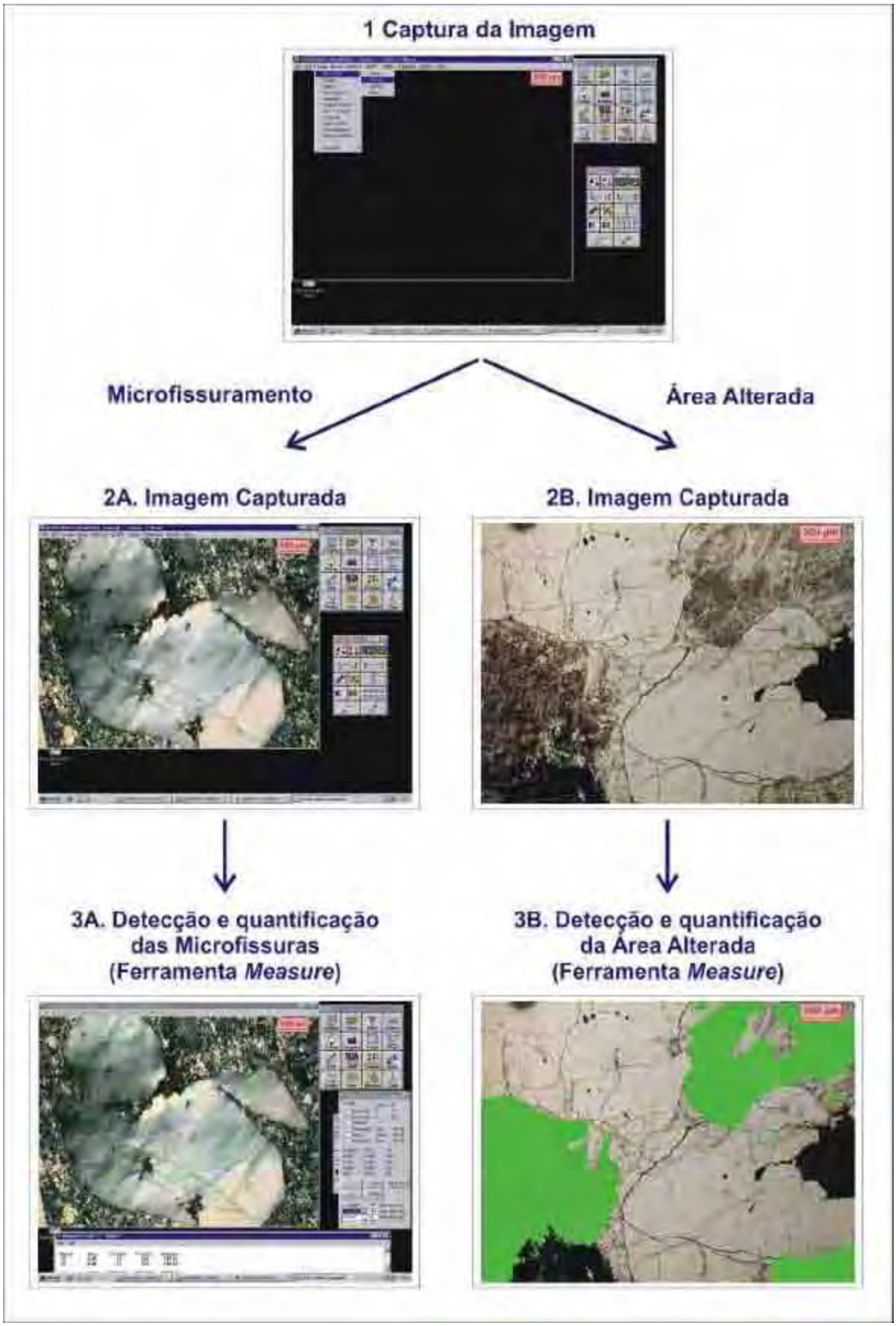


Figura 2.3: Seqüência da quantificação do microfissuramento (A) e da porcentagem de área alterada (B) com o programa computacional Leica Q500Win©, utilizado neste trabalho.

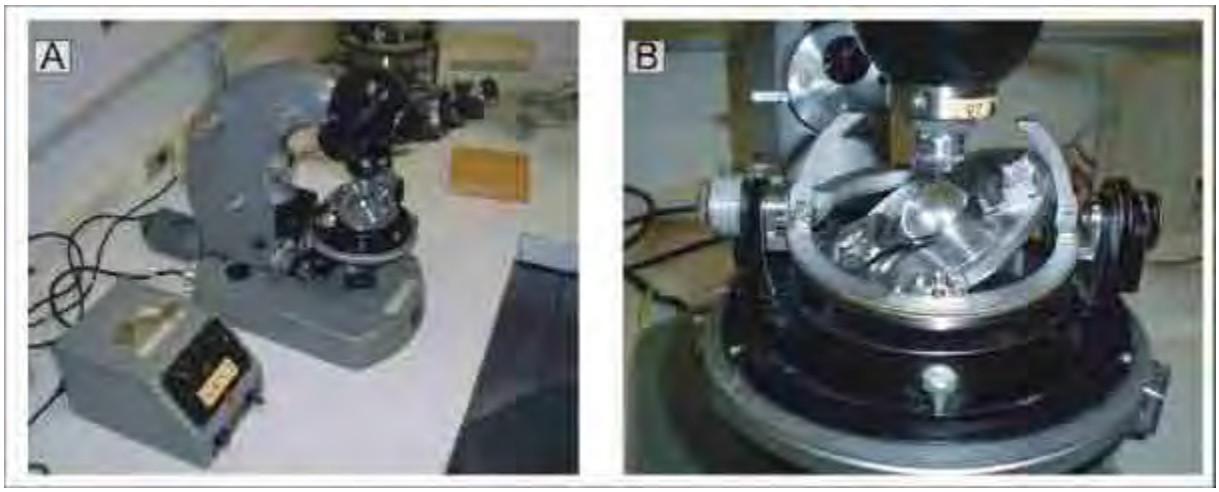


Figura 2.4: Microscópio Leinz equipado com platina universal utilizado para medida da orientação cristalográfica preferencial das rochas estudadas. A) vista geral B) detalhe.

As rochas feldspáticas não foram avaliadas segundo este método devido à alta incidência de cristais de feldspatos com lamelas de deformação e extinção ondulante, dificultando o uso da platina universal, uma vez que eixos cristalográficos de cristais com essas características são demorados e difíceis de medir, além de gerarem dados pouco confiáveis.

Dessa forma a orientação dos eixos cristalográficos dos feldspatos foi estimada combinando-se o tipo de geminação presente nesses minerais (pelas leis Carlsbad e Manebach para os feldspatos potássicos e polissintética pela lei Albita para os plagioclásios) com a determinação do sinal de elongação mineral. A posição do sinal de elongação foi determinada conforme descrito por Kerr (1959) e Fujimori; Ferreira (1979), visando à identificação dos eixos óticos. Sabe-se que nesses minerais o eixo ótico é paralelo ou aproximadamente paralelo ao eixo cristalográfico *b* (DEER et al., 1966), ao qual se dispõem ortogonalmente os planos de geminação {010} para os minerais mencionados (Figura 2.5).

O reconhecimento do sinal ótico a partir da geminação permite inferir a posição do eixo cristalográfico *b* e, por dedução, a orientação do eixo cristalográfico *c*.

Os dados obtidos para o quartzo e dolomita foram convertidos para notação Clar com auxílio de uma planilha de cálculo desenvolvida por Wanilson L. Souza no programa computacional Microsoft® Office Excel 2003© e dispostos em estereogramas de igual área (hemisfério inferior) utilizando-se o programa computacional Stereonet 3.03. Os dados obtidos para os feldspatos foram marcados em fotomicrografias digitais de seções delgadas com polarizadores cruzados (capturadas com o sistema Leica™) tratadas com programa computacional CorelDRAW(R) Graphics Suite – Versão 12.0.

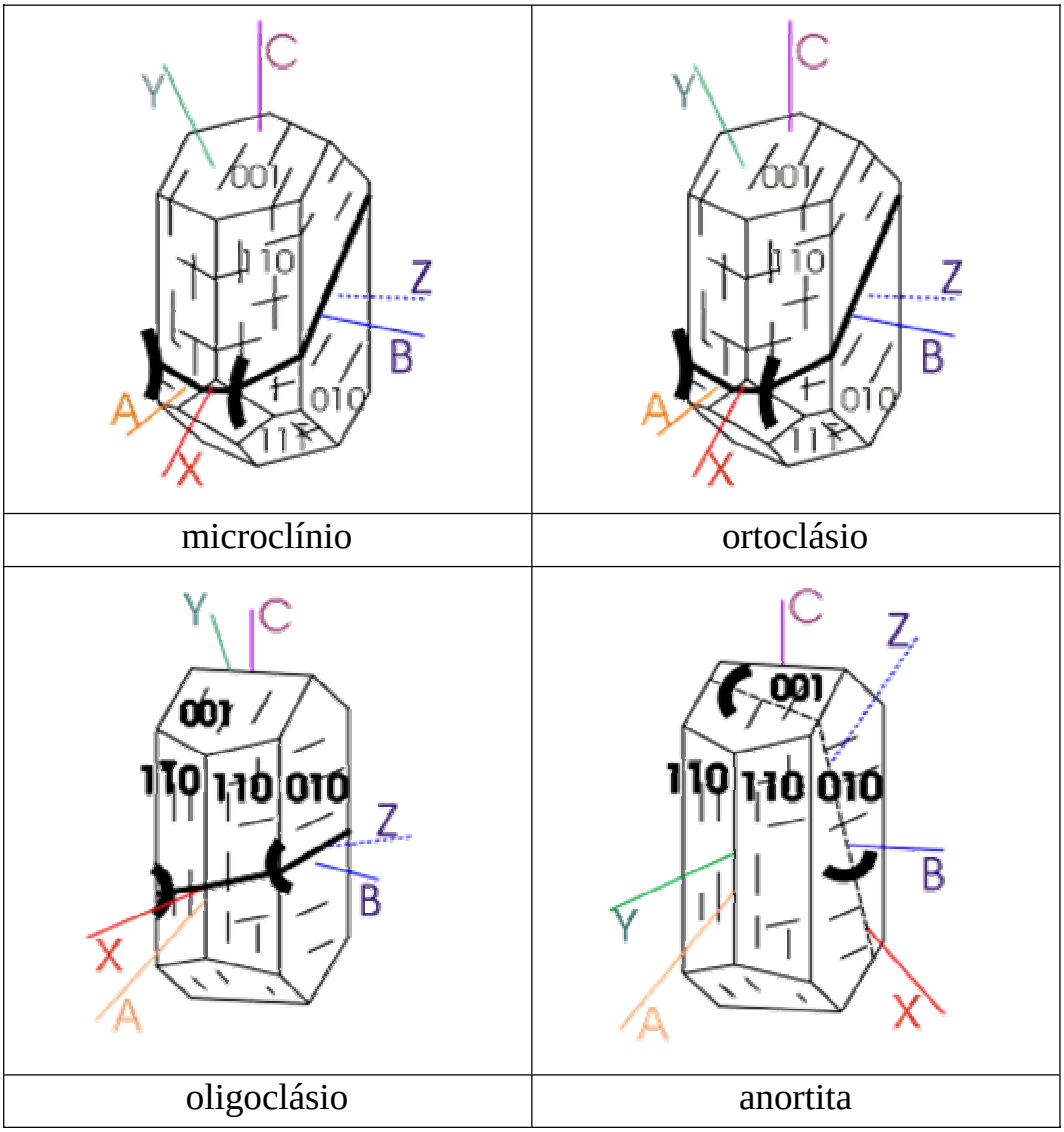


Figura 2.5: Orientação ótica de cristais de feldspatos potássicos e plagioclásios. (baseado DANA; HURLBUT, 1960; DEER et al., 1966. Ilustrações de Fábio Braz Machado).

2.6. Ensaios Tecnológicos

Para avaliação da anisotropia nas rochas estudadas foram escolhidos dois ensaios tradicionalmente utilizados em rochas para revestimento: resistência à compressão uniaxial e dilatação térmica linear. Essas propriedades foram determinadas em corpos-de-prova obtidos paralelamente aos eixos do sistema de referência *xyz* adotado. Esse procedimento visou à obtenção de dados máximos, intermediários e mínimos para cada uma das propriedades tecnológicas analisadas, com a finalidade de calcular a anisotropia dessas propriedades e verificar a correlação com os dados petrográficos.

Como informações adicionais e complementares dos dados petrográficos foram determinadas a massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água e velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais.

Todos os ensaios tecnológicos foram realizados nos laboratórios do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Campus Rio Claro. Algumas verificações de coeficientes de dilatação térmica linear foram feitas em equipamento do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro Tecnológico de Obras de Infra-estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

2.6.1. Rotina para Obtenção dos Dados Petrográficos e Tecnológicos

De posse das amostras selecionadas foram obtidos dados petrográficos e tecnológicos, segundo o fluxograma de atividades da Figura 2.6. Houve o cuidado de que os dados de porosidade, absorção d'água e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas fossem obtidos em cada um dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão uniaxial e dilatação térmica linear, procurando garantir melhor representação estatística dos dados. Dentre os corpos-de-prova cúbicos obtidos para os ensaios de resistência à compressão, um foi reservado para a confecção de três seções delgadas paralelas aos planos do sistema *xyz* (Figura 2.1).

2.6.2. Determinação dos Índices Físicos e da Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

Os chamados índices físicos compreendem a determinação da massa específica seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água conforme a norma NBR 12766 (ABNT, 1992b). Este procedimento foi efetuado em todos os corpos-de-prova submetidos aos ensaios mecânicos e de dilatação. Os corpos-de-prova foram saturados em água por três horas com o auxílio de uma bomba de vácuo, permanecendo nessa condição até completar 24 horas. Com uma balança hidrostática mediu-se a massa submersa (M_{sub}) e a massa saturada (M_{sat}). Em seguida os corpos-de-prova foram secados em estufa a 110 ± 5 ºC por 24 horas e novamente pesados para determinação da massa seca (M_{sec}).

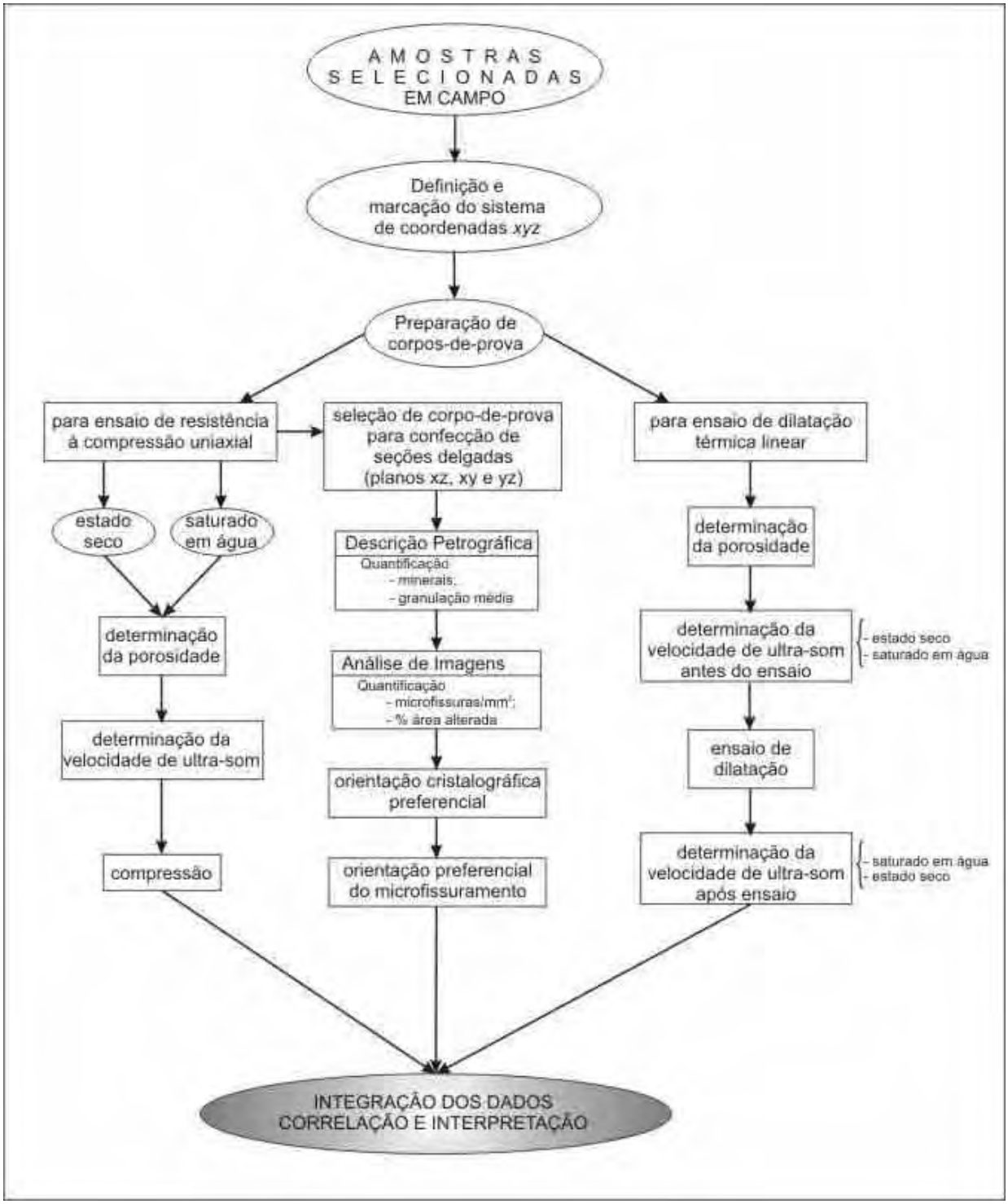


Figura 2.6: Fluxograma dos ensaios realizados.

O cálculo dos índices físicos é feito relacionando as três medidas de massa de acordo com as fórmulas abaixo:

$$\rho_{\text{sec}} = \frac{M_{\text{sec}}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times \rho_{água} \qquad \rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times \rho_{água}$$

$$\eta = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \qquad \alpha = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100$$

Onde: ρ_{sec} = densidade aparente seca (kg/m^3)

ρ_{sat} = densidade aparente saturada (kg/m^3)

$\rho_{água}$ = densidade aparente da água (= 1000 kg/m^3)

η = porosidade aparente (%)

α = absorção de água (%)

M_{sec} = massa seca (g)

M_{sat} = massa saturada (g)

M_{sub} = massa submersa (g)

Os índices físicos são características importantes, pois proporcionam noções dos vazios (fraturas e poros) presentes na rocha (FRAZÃO, 2002) e possibilitam correlacionar a diminuição da resistência mecânica com o aumento da porosidade e absorção d'água.

Outro ensaio tecnológico de grande importância e frequentemente utilizado em associação com ensaios mecânicos é a determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp). Esse é um método indireto não destrutivo, de fácil e rápida execução que permite a avaliação de parâmetros como o grau de sanidade da rocha e o microfissuramento. Neste trabalho, sua aplicação tem a finalidade de verificar sua utilidade nas correlações com a anisotropia das demais propriedades avaliadas e com as feições texturais observadas, especialmente a orientação cristalográfica preferencial.

O procedimento para mensuração da Vp baseou-se na norma D 2845 (ASTM, 1995) através da "técnica transmissão de pulso" utilizando-se transdutores cerâmicos piezoelétricos (BIRCH, 1960; SANTIN, 1996). Este ensaio foi realizado nos corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão e de dilatação, tanto em condição seca quanto saturada em água. O eixo de propagação da onda foi coincidente ao eixo de compressão e de dilatação assumido nos ensaios. O valor da velocidade de ultra-som é dado pela função:

$$V_p = \frac{L}{t_p}$$

Onde: Vp = velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s);

L = distância percorrida pelo pulso ultra-sônico (m);

t_p = tempo de percurso da onda longitudinal (s).

A anisotropia de Vp foi calculada pela expressão:

$$AVp = \frac{(Vp_{máximo} - Vp_{mínimo})}{Vp_{máximo}} \times 100$$

Onde: AVp = anisotropia de Vp (%)

$Vp_{máximo}$ = maior Vp determinado (m/s);

$Vp_{mínimo}$ = menor Vp determinado (m/s).

Calculou-se também o coeficiente de incremento de Vp após saturação em água, pela expressão:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{saturado}}{\sigma_{seco}}$$

Onde: K_{Vp} = coeficiente de incremento por saturação em água;

$Vp_{saturado}$ = Vp médio para condição saturada em água (m/s);

Vp_{seco} = Vp médio para condição seca (m/s).

2.6.3. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

A determinação do coeficiente de dilatação térmica linear baseou-se na norma NBR 12765 (ABNT, 1992c) com modificações na quantidade e dimensões dos corpos-de-prova. Foram utilizados três corpos-de-prova cilíndricos (um a mais que o preconizado), com diâmetro de 2,9 cm e altura de 9,0 cm, cada qual paralelo a um dos três eixos do sistema *xyz* adotado (Figura 2.1).

A aquisição dos dados para cálculo do coeficiente de dilatação pode ser feita utilizando equipamento constituído por um sistema de banho ultratermostático que promove o aquecimento e resfriamento do corpo-de-prova. Em contato direto com o topo do corpo-de-prova há um transdutor capaz de medir a variação linear diferencial experimentada pela amostra durante o ensaio propriamente dito, que corresponde a dois ciclos com variação de temperatura. Primeiro a amostra é resfriada a 0ºC e após sua estabilização nessa temperatura dá-se início à etapa de aquecimento sob a taxa de 0,3ºC/min até 50ºC. Na segunda etapa deve-se aguardar a estabilização da temperatura do corpo-de-prova em 50 C, para então iniciar o resfriamento até 0ºC a uma taxa de 0,3 C/min. O cálculo da dilatação térmica linear de um

corpo-de-prova corresponde à média (β_χ) entre os valores de β_R e β_A, calculados com as expressões abaixo:

$$\beta_R = \frac{\Delta L_R}{L_i \times \Delta T_R} \qquad\qquad \beta_A = \frac{\Delta L_A}{L_i \times \Delta T_A}$$

Onde: β_R = coeficiente de dilatação térmica linear no resfriamento (mm/m ºC);

β_A = coeficiente de dilatação térmica linear no aquecimento (mm/m ºC);

ΔL_R = variação do comprimento do corpo-de-prova no resfriamento (mm);

ΔL_A = variação do comprimento do corpo-de-prova no aquecimento (mm);

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

ΔT_R = variação da temperatura no resfriamento (ºC);

ΔT_A = variação da temperatura no aquecimento (ºC)

Para o caso específico deste trabalho não são considerados os valores médios entre os corpos-de-prova, como preconiza a NBR 12765, e sim apenas a média entre o aquecimento e o resfriamento de cada corpo-de-prova, resultando em três valores de dilatação para cada rocha, cada qual correspondendo a um eixo do sistema de referência.

A anisotropia do coeficiente de dilatação foi calculada pela expressão:

$$A_\beta = \frac{(\beta_{máximo} - \beta_{mínimo})}{\beta_{máximo}} \times 100$$

Onde: A_β = anisotropia do coeficiente de dilatação térmica linear (%)

$\beta_{máximo}$ = maior coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m ºC);

$\beta_{mínimo}$ = menor coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m ºC).

A determinação deste coeficiente é de grande importância para a definição de juntas de dilatação para revestimentos de interiores e exteriores, principalmente fachadas cujos painéis serão fixados por dispositivos de ancoragem metálicos. Este ensaio é recomendável sempre que o material estiver em ambientes onde ocorrem grandes variações de temperatura (por exemplo, revestimentos de exteriores e peças decorativas expostas ao sol por longos períodos do dia, molduras de lareiras, entre outros).

2.6.4. Resistência à Compressão Uniaxial

Para a determinação da resistência à compressão uniaxial adotou-se o procedimento descrito na norma NBR 12677 (ABNT, 1992d) com modificações. Foram obtidos quatro cubos com arestas de até 7,0 cm para cada um dos três eixos representados na Figura 2.1, totalizando 12 corpos-de-prova para cada rocha estudada. Em seguida os corpos-de-prova foram divididos em dois conjuntos (dois para cada eixo) para ensaio nas condições seca e saturada em água, e submetidos à determinação dos índices físicos e Vp.

Os corpos-de-prova para ensaio em estado seco foram inicialmente saturados em água e pesados conforme descrito em 2.6.2, e depois acondicionados por 24 horas em estufa a 110ºC para secagem. Inversamente, os corpos-de-prova para ensaio na condição saturada, foram inicialmente secos em estufa e pesados, e posteriormente foram saturados em água para finalizar a determinação dos índices físicos. A Vp foi determinada nos dois conjuntos de corpos-de-prova imediatamente antes do ensaio de compressão propriamente dito.

Por fim, cada corpo-de-prova foi acondicionado numa prensa hidráulica Forney modelo F502F - DFM/I (com capacidade de carga de 2.200 KN) e submetido, até a ruptura, a um esforço compressivo uniaxial com taxa de carregamento de 600 KPa/s (≅ 202,5 KN/min). A tensão de ruptura é calculada com a força obtida na compressão segundo a fórmula abaixo:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Onde: σ = tensão máxima de ruptura (MPa = N/mm^2);

P = força máxima de ruptura (N);

A = área de aplicação da carga no corpo-de-prova (mm^2);

A anisotropia da tensão de compressão uniaxial foi determinada pela expressão:

$$A_\sigma = \frac{(\sigma_{máximo} - \sigma_{mínimo})}{\sigma_{máximo}} \times 100$$

Onde: A_σ = anisotropia da tensão de compressão uniaxial (%)

$\sigma_{máximo}$ = maior valor de tensão de compressão uniaxial (MPa);

$\sigma_{mínimo}$ = menor valor de tensão de compressão uniaxial (MPa)

Os dados de tensão obtidos nos estados seco e saturado em água foram utilizados para o cálculo do coeficiente de enfraquecimento pela expressão:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{saturado}}{\sigma_{seco}}$$

Onde:

K_{σ} = coeficiente de decaimento por saturação em água;

$\sigma_{saturado}$ = tensão média de compressão uniaxial na condição saturada (MPa);

σ_{seco} = tensão média de compressão uniaxial na condição seca (MPa).

2.7. Tratamento dos Dados

Os dados petrográficos, texturais e tecnológicos obtidos foram tratados separadamente e em conjunto utilizando técnicas de estatística convencional e multivariada, com objetivo de reconhecer a contribuição das variáveis petrográficas estudadas nos ensaios realizados.

O tratamento dos dados tecnológicos usando estatística tradicional considerou as recomendações de Landim (1998; 2000; 2003) e Lapponi (1997) e envolveu o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação, bem como a obtenção de histogramas e gráficos de dispersão de pontos, pelos programas Microsoft Office Excel® 2003 e Statistica®. Os dados de orientação cristalográfica preferencial foram dispostos em estereogramas do tipo Schmidt com projeção no hemisfério inferior (CARNEIRO et al., 1996) utilizando o programa Stereonet© 3.03.

A correlação dos ensaios tecnológicos e petrográficos foi estudada por esses métodos e também por métodos de análise estatística multivariada, como análise discriminante e análise de regressão linear múltipla conforme apresentados nos trabalhos de Rao (1952), Li (1964), Davis (1986) e Landim (2000). Exemplos de aplicação da correlação entre dados tecnológicos e petrográficos com esses métodos podem ser encontrados em Navarro (2002), Navarro; Artur (2002; 2004).

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA REVESTIMENTO

O setor de rochas ornamentais e para revestimento representa atualmente um dos setores com maior crescimento econômico ao nível nacional e mundial, sendo as décadas de 1980 e 1990 consideradas como a "nova idade da pedra" (CHIODI FILHO 1995, 2002; ABIROCHAS, 2001; CHIODI FILHO et al. 2004). Segundo Montani (2005) a produção mundial de rochas em 2004 atingiu 81,25 milhões de t/ano, representando aumento de 8,33% em relação a 2004. Esse mercado vem movimentando desde 2002 mais de US$ 40bilhões/ano se considerados máquinas, equipamentos, insumos e serviços (MONTANI, 2003). As taxas médias mundiais de crescimento anual da produção, da exportação e do consumo têm oscilado entre 7% e 11% nos últimos quatro anos, sendo que a produção de rochas em 2004 cresceu cerca de 8,0% ao nível mundial em relação ao ano anterior (MONTANI, 2005).

Os critérios controladores do mercado internacional de rochas ornamentais estão atrelados, sobretudo, aos modismos e tendências de *design* determinados no continente europeu, e que podem estar sujeitos a sazonalidades (ABIROCHAS, 2001). As práticas de mercado evidenciam plenamente que um dos principais fatores controladores desse mercado é o aspecto estético que o material exibe e as possibilidades arquitetônicas que permite, ficando em segundo plano as caraterísticas tecnológicas e propriedades físicas, mecânicas e químicas das rochas (FRASCÁ, 2002; 2004). Entretanto, como destacado por Selonen et al. (2000), os fatores geológicos que condicionam a ocorrência de determinado tipo de rocha ornamental apresentam importância fundamental para a definição do tipo de jazimento e, consequentemente, para a determinação da economicidade do depósito. As informações geológicas podem também definir e/ou contribuir de maneira significativa nos processos de lavra e beneficiamento.

Do total de 81,25 milhões de toneladas de rochas produzidas em 2004 ao nível mundial, cerca de 43,75 milhões (53,9%) referem-se a mármores, 33,0 milhões (40,6%)

granitos e 4,5 milhões (5,5%) a ardósias e outros materiais. A Ásia, sobretudo pela atuação da China, respondeu por 44,1% dessa produção, ultrapassando a Europa com 38,4%, as Américas com 11,1%, a África com 6,1% e a Oceania com 0,31% (MONTANI, 2005).

O *ranking* dos principais produtores apresentados por Montani (2005) organiza-se com a liderança da China (18,0 milhões t) seguida pela Índia (9,50 milhões t), Itália (7,65 milhões t), Espanha (6,25 milhões t), Irã (5,25 milhões t), Turquia (4,20 milhões t) e, o Brasil, em 7º lugar, com 4,0 milhões t. Entretanto Chiodi Filho (2005) referencia que a produção brasileira real já para 2003 foi de 6,1 milhões de toneladas e, portanto, superior ao Irã e Turquia.

Montani (2005) considera um total de 32,84 milhões t de rochas brutas e beneficiadas comercializadas no mundo em 2004, sendo que a China participou com 7,53 milhões t (21,6%), a Índia com 3,87 milhões t (11,1%), a Itália com 3,09 milhões t (8,87%), a Turquia com 2,63 milhões t (7,5%), a Espanha com 2,46 milhões t (7,1%),) e o Brasil com 1,80 milhões t (5,2%) em 6º lugar.

O Brasil apresenta certo destaque no mercado internacional, mas ainda ocupa uma posição muito tímida considerando-se a diversidade estética e o potencial geológico do país. Em 2003 o Brasil se firmou como 6º maior produtor de rochas, ocupando o 6º lugar como exportador de rochas em volume físico, 4º lugar como exportador de granitos em bruto, 7º exportador de rochas processadas e, junto com a Espanha, o 2º maior exportador de ardósias (CHIODI FILHO et al., 2004).

Em pouco mais de 10 anos a China se destacou no cenário internacional pela aplicação de uma política de preços bastante agressiva (CHIODI FILHO, 2002), garantindo competitividade no mercado e alcançando a liderança de alguns segmentos de exportação (maior produtor de rochas brutas e beneficiadas) e importação (insumos, equipamentos, granitos e mármores brutos). Assim conquistou a posição de líder de mercado, ocupada durante 90 anos pela Itália (ABIROCHAS, 2001).

Os principais exportadores mundiais de blocos praticam preços entre US$ 300/m^3 e US$ 700/m^3 para granitos e US$ 500/m^3 e US$ 1.300/m^3 para mármores, sendo que produtos semi-acabados (chapas polidas) alcançam preços de três a cinco vezes maiores. Produtos finais (peças padronizadas, sob medida ou personalizadas) são vendidos por valores seis a dez vezes maiores que os produtos brutos (MELLO, 2004).

Projeções de consumo/produção e exportações mundiais indicam a manutenção da tendência de crescimento do setor registrada nas últimas duas décadas considerando que em 2025 a produção mundial de rochas atingirá 320 milhões t/ano, multiplicando-se por oito as atuais transações internacionais (CHIODI FILHO et al., 2004).

O mercado nacional em 2004, na análise de Chiodi Filho (2005), está abastecido por uma variedade de aproximadamente 600 tipos comerciais, provenientes de cerca de 1.500 frentes de lavra ativas. O parque empresarial composto por 12.000 empresas (destas 650 exportadoras) com 125.000 empregos diretos apresenta capacidade de serragem e polimento de mármores, granitos e outras rochas da ordem de 50 milhões m^2/ano. Os negócios nacionais e internacionais envolvendo também máquinas, equipamentos e insumos movimentaram cerca de US$ 2,8 bilhões, e o saldo da balança comercial do setor no país excedeu US$ 580 milhões.

A produção nacional que em 2004 teria sido de 6,45 milhões de toneladas (CHIODI FILHO, 2004), estaria centrada especialmente na região sudeste, onde só o Estado do Espírito Santo participou com 70%, seguido por Minas Gerais, Bahia, Paraná e Rio de Janeiro (Tabela 3.1). Chiodi Filho (2005) considerando uma densidade média de 2,75 g/cm^3 (peso médio de 55 kg/m^2 para chapas com 2 cm de espessura) para os 51,8 milhões m^2 produzidos estima o consumo líquido de 15,9 kg per capita/ano e o consumo bruto de 26,1 kg per capita/ano.

Tabela 3.1: Distribuição da produção de rochas ornamentais por regiões e estados brasileiros em 2004 (CHIODI FILHO, 2005).

Região	Estado	Produção (x 1.000 t)	Tipo de Rocha
Sudeste	▫ Espírito Santo	2.800	Granito e mármore.
	▫ Minas Gerais	1.650	Granito, ardósia, quartzito foliado, pedra sabão, pedra talco, serpentinito, mármore e basalto.
	▫ Rio de Janeiro	250	Granito, mármore e Pedra Miracema.
	▫ São Paulo	50	Granito, quartzito foliado e ardósia.
Sul	▫ Paraná	200	Granito, mármore e outros.
	▫ Rio Grande do Sul	100	Granito e basalto.
	▫ Santa Catarina	100	Granito e ardósia.
Centro-Oeste	▫ Goiás	150	Granito e quartzito foliado.
Norte e Nordeste	▫ Bahia	410	Granito, mármore, travertino, arenito e quartzito.
	▫ Ceará	410	Granito e Pedra Cariri.
	▫ Paraíba	100	Granito e conglomerado.
	▫ Pernambuco	60	Granito.
	▫ Alagoas	30	Granito.
	▫ Rondônia	30	Granito.
	▫ Rio Grande Norte	30	Mármore e granito.
	▫ Pará	10	Granito.
	▫ Piauí	70	Pedra Morisca.
Total		**6.450**	

Fonte: ABIROCHAS, 2005

As exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais têm mostrado desempenho crescente ao longo das últimas décadas, sobretudo nos últimos 10 anos. Dados apresentados

por Chiodi Filho et al. (2004) mostram que entre 1999 e 2002 as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais cresceram 45,7% em faturamento e de 28,2% em volume físico, passando de US$ 232,46 milhões para US$ 338,80 milhões e de 983,61 mil t para 1.260,85 mil toneladas. O incremento médio anual registrado foi de 13,64% para o faturamento e de 9,34% para o volume físico, indicando a participação crescente de produtos com maior valor agregado nas exportações. Apenas para rochas processadas, abrangendo produtos acabados e semi-acabados de granitos, ardósias, quartzitos foliados, serpentinitos, pedra-sabão, mármores, travertinos, basaltos etc., registrou-se crescimento de 93,05% em valor e 140,07% em peso, no período considerado. A participação de rochas processadas, no total do faturamento, evoluiu de 49,9% em 1999 para 66,0% no ano de 2002 (CHIODI FILHO, 2004b).

Em 2003, as exportações brasileiras de rochas ornamentais tiveram segundo CHIODI FILHO (2004a, c) o mais notável desempenho até então da história do setor, atingindo US$ 429,3 milhões e compondo um incremento de 26,7% frente a 2002, o que superou o recorde de 26,0% anteriormente verificado em 1997. Para CHIODI FILHO (*op. cit*.), este bom desempenho deveu-se às exportações de rochas processadas que tiveram incremento de 34,6% e somaram US$ 301,0 milhões, perfazendo 70,1% do total das exportações brasileiras.

Durante 2004 as exportações de rochas ornamentais atingiram o equivalente a US$ 601,00 e 1.921,0 mil t (CHIODI FILHO, 2006), representando um incremento respectivamente de 29,5% em valor e 15,0% em volume físico em relação a 2003, novamente com destaque para as rochas processadas.

No período de janeiro a novembro de 2005, CHIODI FILHO (2006) relata que as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais e de revestimento somaram US$ 713,65 milhões, correspondentes à comercialização de 1.963,9 mil t de rochas brutas e manufaturadas, representando crescimento de 31,50% no faturamento e de 16,27% no volume físico frente ao mesmo período de 2004. Segundo o mesmo autor, computando-se os últimos 12 meses (dezembro/2004 a novembro/2005) as exportações somaram US$ 771,9 milhões, e que se mantido o crescimento até então verificado as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais deverá somar US$ 780 milhões e 2,26 milhões de toneladas em 2005, representando incremento de respectivamente 30% e 15% frente a 2004. Do total exportado, as rochas processadas representam 79% do faturamento e 51% do volume físico, tendo, portanto, complemento de 21% e 49% para as rochas brutas.

As expectativas das exportações brasileiras apontadas por Chiodi Filho (2006) para 2006 é que ocorra uma variação positiva próxima a 15% frente 2005, devendo-se, portanto,

atingir faturamento de cerca de US$ 900 milhões. Segundo boletim da Fundação Centro de Estudos de Comércio Exterior (Funcex, in: CHIODI FILHO, 2006), com as exportações de 2005 crescendo à taxa de 23%, portanto superior à taxa média global de 14%, a participação brasileira no mercado mundial deverá se ampliar de 1,0% para 1,2%.

A performance no faturamento do setor de rochas ornamentais e de revestimento brasileiro deve-se fundamentalmente ao crescimento do número de empresas com negócios nas posições de rochas processadas, como o Espírito Santo (principal *cluster* de mármores e granitos no Brasil) que respondeu, segundo dados de Viguini (2006), por 78,03% do total de manufaturados exportados de janeiro a novembro/2005, perfazendo US$ 357,97 milhões, com uma variação positiva de 49,02% frente ao mesmo período de 2004. Viguini (*op.cit.*) destaca que do total geral das exportações brasileiras, a participação do Espírito Santo no período correspondeu a 61,95% em valores (US$ 442,089 milhões), representando um crescimento de 46,08% sobre o mesmo período de 2004.

Do total de outras rochas, as exportações de Minas Gerais no período de janeiro a novembro/2005 representaram 83,89%, com participação geral de 18,26%, equivalente a US$ 130,32 milhões (VIGUINI, 2006). O mesmo autor aponta o estados do Rio de Janeiro em 3^{o}. e Bahia em 4^{o}. lugares, respectivamente com 5,4% e 3,31% do total geral das exportações brasileiras no setor de rochas ornamentais.

O cenário mundial, com o destaque da China e Índia nos últimos anos, indica uma reestruturação mundial do setor, e a presença de países em desenvolvimento como a Índia e África com grande geodiversidade e capacidade produtiva, coloca o Brasil em situação de acirrada disputa e ampliação de mercados mais amplos, que deverão ser conquistadas com preços competitivos e provimento de tecnologia para aumento da quantidade de material produzido assegurando qualidade mínima. De certo modo, nos últimos cinco anos, o setor de rochas ornamentais no Brasil começa a responder aos desafios do mercado internacional alterando seu perfil de produtor de blocos para produtor de produtos acabados simples e especiais, além do notável incremento da produção de tipos estéticos pouco comuns no mercado, fator positivo para o fortalecimento da “marca Brasil”.

Há de se considerar que a manutenção dos espaços conquistados e a abertura de novos nichos (Mercosul, Ásia e Oriente Médio) devem, necessariamente, envolver adequação tecnológica nas fases de beneficiamento (serragem e polimento) seguido de melhoria da estrutura portuária e dos processos envolvidos nas exportações, garantindo que contratos firmados sejam atendidos (CHIODI FILHO et al., 2004).

CAPÍTULO 4

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

As propriedades tecnológicas ou petrofísicas das rochas são amplamente diversificadas e definem o comportamento dos materiais pétreos quando submetidos aos processos de transformação, instalação e utilização. Envolvem todas as propriedades físicas, mecânicas e químicas das rochas, as quais são decorrentes da complexa interação de fatores intrínsecos, genericamente agrupados em composição mineralógica, textura e estrutura. Esse trinômio presente em todos os tipos de rochas é definido pela superposição de processos geológicos e eventos evolutivos que a rocha é submetida ao longo do tempo geológico. Por se tratar de um corpo dinâmico, ao alcançar a superfície, a rocha sofre solicitações de processos exógenos (intemperismo, erosão etc.) que modificam novamente suas propriedades, surgindo então uma nova condição de equilíbrio (AIRES-BARROS, 1991).

Para aplicação das rochas em obras de engenharia normalmente recorre-se à determinação das propriedades tecnológicas utilizando procedimentos laboratoriais regidos por normas técnicas. Os dados obtidos por esses métodos geralmente fornecem parâmetros suficientes para definir critérios de utilização da rocha com segurança e durabilidade satisfatória. Ressalta-se, entretanto, que as relações entre características petrográficas e tecnológicas são algo complexas, não sendo claramente conhecidas todas as variantes dessas relações (MELLO MENDES 1968; RZHEVSKY; NOVIK 1971; WHITTAKER et al., 1992).

No caso das rochas ornamentais e para revestimento o aspecto estético (também definido pelas propriedades intrínsecas) é o atributo mais utilizado e freqüentemente decisivo para seleção da rocha. Outro fator de grande relevância, mas atualmente nem sempre utilizado, é o tipo de ambiente que a rocha será instalada. O ambiente de aplicação definirá o conjunto de solicitações que a rocha será submetida, as quais por sua vez, atuarão sobre as propriedades intrínsecas. A durabilidade será definida pelo estado de equilíbrio alcançado pela rocha após a interação entre as propriedades petrofísicas e as solicitações do ambiente.

As possibilidades de aplicação de rochas como revestimentos e os métodos disponíveis para tanto são muito amplos o que exige conhecimento detalhado das propriedades tecnológicas da rocha que se pretende utilizar, para garantir uma boa durabilidade. Os ensaios mais tradicionalmente utilizados objetivam determinar propriedades tais como: índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água); velocidade de ondas ultra-sônicas; desgaste abrasivo *Amsler*; módulo de ruptura; resistências à flexão, à compressão uniaxial, ao impacto; coeficiente de dilatação térmica e alterabilidade. Em sua maioria contam com normas da ABNT e maiores comentários sobre essas propriedades, sua importância e utilidade para as rochas ornamentais podem ser encontrados em Melo Mendes (1968), IPT (1990; 2000), Aires-Barros (1991), Chiodi Filho (1995), Winkler (1997), Navarro (1998), Frazão; Paraguassú (1999); Frazão (2002) e Frascá (2004).

Além da informação inerente à propriedade considerada a correlação entre propriedades pode ser particularmente útil para especificação, dimensionamento e conservação de rochas. Ao que se refere o setor de rochas ornamentais no Brasil, o assunto ainda é pouco estudado, sendo os trabalhos de Rodrigues et al. (1996; 1997) e Navarro (1998), os primeiros a abordar as relações entre aspectos petrográficos e tecnológicos de granitos ornamentais. Em trabalhos mais recentes, Navarro et al. (1999) apresentaram seis equações matemáticas para previsão dos ensaios de resistência à flexão e desgaste abrasivo Amsler, com base em informações petrográficas. Posteriormente, Navarro; Artur (2001, 2004) apresentam dados petrográficos quantificados através de microscopia convencional e análise de imagens. Tais informações foram correlacionadas com dados de caracterização tecnológica por meio da análise estatística multivariada, obtendo como resultado diversas equações que correlacionam variáveis petrográficas com dados tecnológicos.

A resistência mecânica, bem como outras propriedades tecnológicas das rochas, depende de fatores como grau de alteração, microfissuramento e dimensões dos minerais presentes. Considere-se ainda que, durante a gênese de rochas magmáticas e metamórficas, a atuação de mecanismos de deformação resulta numa gama variada de defeitos cristalinos (pontuais, lineares e/ou planares) que configuram planos de fraqueza ou descontinuidades físicas das rochas, definindo assim zonas preferenciais para redistribuição de energia, iniciando a propagação de fraturas conforme as concepções postuladas pela Teoria de Griffith, e conseqüente desagregação da rocha (VUTUKURI et al., 1974; ATTEWELL; FARMER, 1976; WITTAKHER et al. 1992).

O desenvolvimento de estruturas e texturas durante os processos genéticos freqüentemente faz com que as rochas sejam anisótropas quanto às suas propriedades físicas e mecânicas, ou

seja, apresentam variações das propriedades em diferentes direções do volume rochoso. Inversamente, alguns tipos de rochas podem apresentar comportamento isótropo, isto é, há constância das propriedades nas diferentes direções consideradas.

Não apenas as rochas, mas também os minerais apresentam propriedades variáveis. Conforme Borges (1982) as propriedades físicas dos cristais podem ser **escalares** ou **direcionais**. As escalares são aquelas definidas por um número que relaciona duas grandezas mensuráveis nessa matéria, como por exemplo, a capacidade calorífica, que é a relação entre o calor cedido a um corpo e o aumento de temperatura do mesmo. As propriedades direcionais são aquelas que não podem ser definidas por grandeza escalar e, por conseguinte, são designadas por vetores, tornando possível classificar os materiais como **anisotrópicos** ou **isotrópicos** (BLOSS, 1971). Entre essas propriedades destacam-se a condutibilidade térmica e elétrica, a dilatação térmica, as propriedades óticas, dureza, clivagem, difração de raios X, geminações, entre outros. Sendo tais as propriedades dos minerais, entende-se que o arranjo e a disposição dos minerais podem definir planos de fraqueza ou de anisotropia nas rochas (ATTEWELL; FARMER, 1976; SCHÖN, 1996).

Minerais com ocorrência ampla na natureza, tais como feldspatos, quartzo, micas e carbonatos apresentam anisotropias de propriedades óticas, velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (Figura 4.1; Tabela 4.1), condutividade térmica (Figura 4.2) e elétrica, entre outras.

Tabela 4.1: Anisotropia à velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais de alguns minerais formadores de rochas (Weiss, 1998).

MINERAIS	ANISOTROPIA (%)
moscovita	44,01
microclínio	37,52
plagioclásio	27,84
calcita	26,13
diopsídio	25,00
quartzo	23,79
hornblenda	23,63
sillimanita	22,81
olivina	21,84
bronzita	16,43
cordierita	10,96

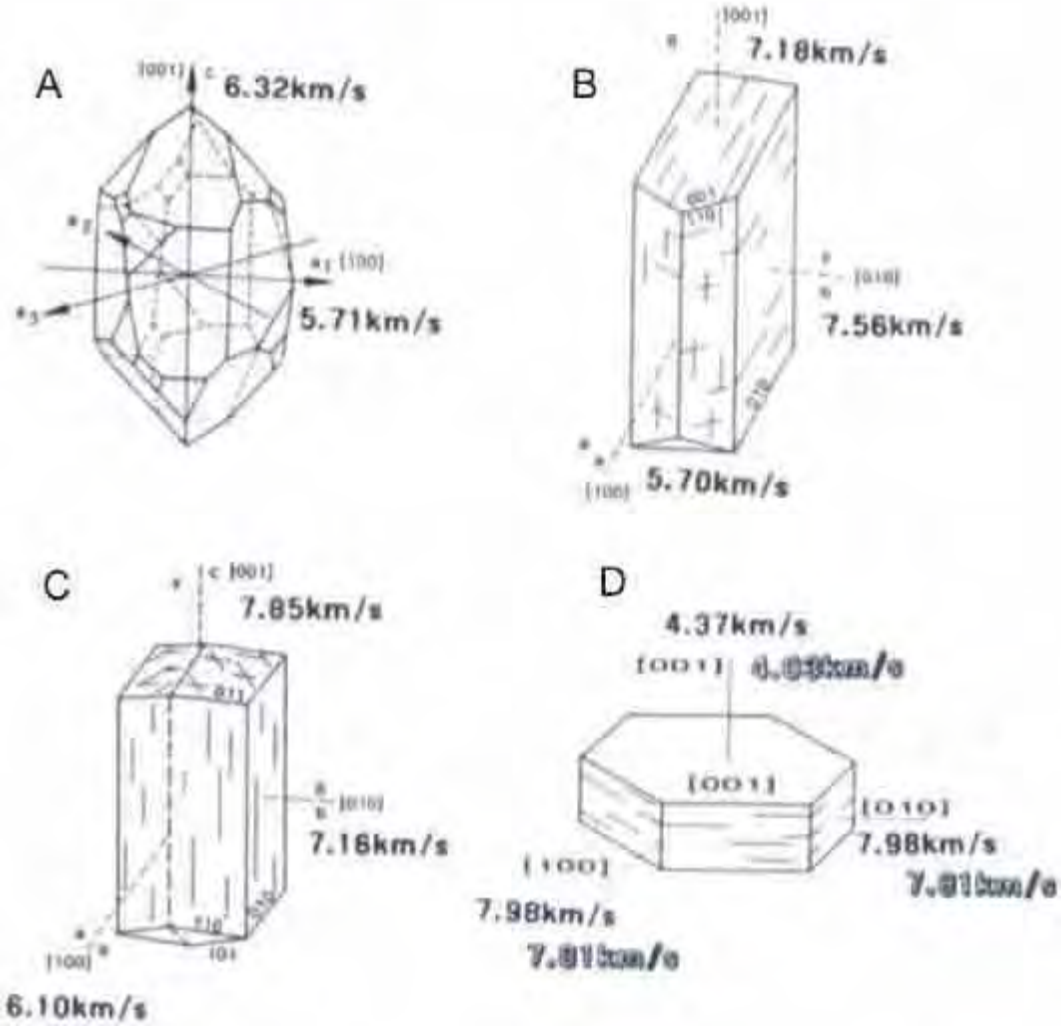


Figura 4.1: Relação entre eixos óticos (na, nß, n?) e cristalográficos (a, b e c) e Vp calculada (lambda) para quartzo (A), plagioclásio (B), hornblenda (C), moscovita e biotita (D). Fonte: Siegesmund; Dams (1994).

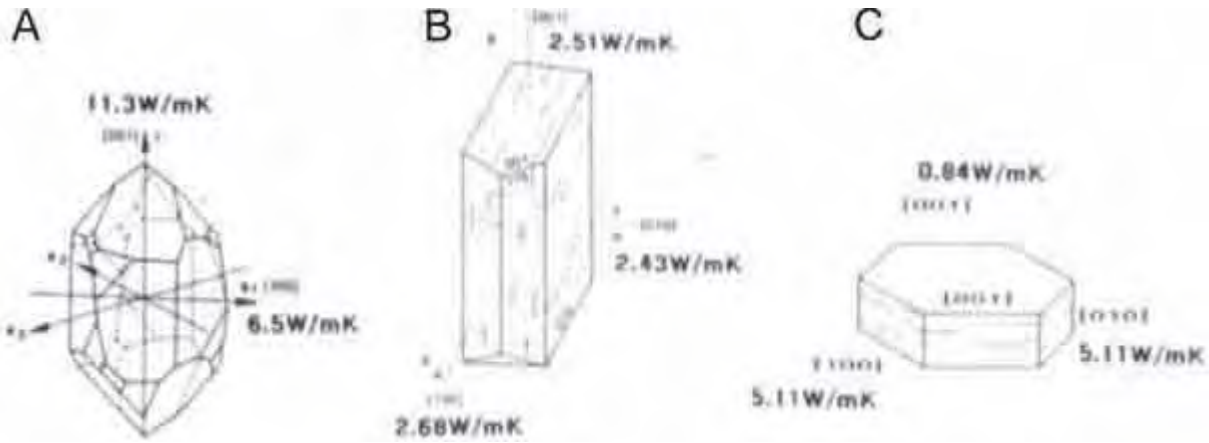


Figura 4.2: Relação entre eixos óticos (na, nß, n?) e cristalográficos (a, b, c) e condutividade térmica calculada (?) para quartzo (A), plagioclásio (B) e moscovita (C). Fonte: Siegesmund; Dams (1994).

Os defeitos cristalinos (Figura 4.3) também podem contribuir para variações nas propriedades das rochas. Os chamados **defeitos cristalinos pontuais** correspondem a lugares vagos de átomos ausentes na estrutura, nuvens de átomos e combinações entre vazios de átomos ou elétrons. São defeitos que podem ser responsáveis pela cor dos cristais e influenciar na condutividade elétrica, e em outros momentos podem influenciar significativamente na resistência mecânica dos cristais e, por conseguinte da rocha (HOBBS et al., 1976). A condutividade e os problemas de resistência estariam vinculados à concentração de impurezas nos espaços intersticiais (NICHOLAS, 1984). **Defeitos lineares ou deslocamentos** são mais importantes para o comportamento mecânico dos cristais (HOBBS et al., 1976). A combinação de um plano cristalográfico específico e uma direção cristalográfica nesse plano se chama sistema de deslizamento (*slip sistem*), o qual é preferencialmente ativado por efeitos de cisalhamento durante a aplicação de esforços (HOBBS et al., 1976). O movimento descrito pode ser o deslocamento de um plano ao longo de uma linha (*edge dislocation*), do plano com movimentos helicoidais (*screw dislocation*) ou, o que é mais freqüente, uma combinação complexa de ambos (SPRY, 1969). Cada espécie mineral apresenta um sistema típico de elementos cristalográficos que podem ser preferencialmente ativados, havendo influência da temperatura durante a implantação da deformação (NICHOLAS, 1984).

Os **defeitos planares** compreendem as microestruturas classificadas como limites de subgrão, limites de grão, bandas e lamelas de deformação e geminações (HOBBS et al., 1976). Os limites de subgrão são limites relativamente planos com desvios de orientação reticular entre 1º e 5º, perceptíveis ao microscópio óptico pela posição de extinção. Os limites de grão separam cristais de orientação reticular ou composição distintas, havendo gradação completa entre os limites de subgrão e grão quando se tratam de minerais de mesma espécie.

As bandas e lamelas de deformação são regiões planas dos cristais que sofreram deformação diferente de áreas adjacentes por torção do retículo cristalino (HOBBS et al., 1976). A geminação é definida por limites planos de dois cristais organizados de uma forma simétrica específica. A geração de uma geminação implica na aparição de um elemento de simetria que não se observa no cristal não geminado, de modo que as estruturas cristalinas situadas em cada lado do limite da geminação podem se relacionar por reflexão simples ou por rotação de um eixo. Um exemplo de geminação de reflexão é o tipo Brasil, segundo (0001), freqüentemente observada no quartzo. A geminação tipo albita é um exemplo de rotação de 180º no eixo perpendicular a (010) em feldspatos (HOBBS et al., 1976).

As geminações originadas por crescimento podem ser distinguidas facilmente das geminações por deformação pela menor espessura e pelas terminações em forma de cone que

estas exibem. Essas feições são particularmente importantes nos casos de deformação da calcita em baixas temperaturas e dos plagioclásios (PASSCHIER; TROUW, 1996).

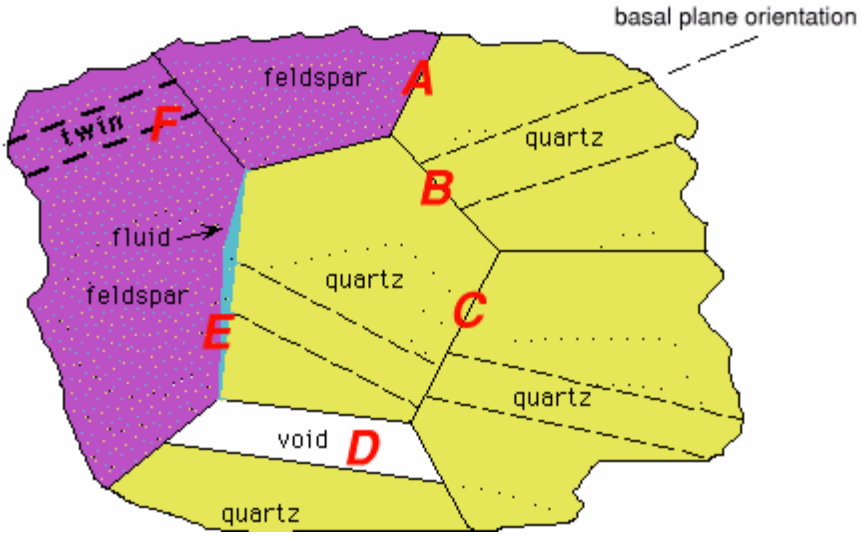


Figura 4.3: Esquema dos principais tipos de defeitos planares em agregados cristalinos naturais (fonte: http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/lectures/lec2.html). Limites de grão: A) entre minerais diferentes; B) entre minerais de mesma espécie, caracterizado por alto ângulo da rede cristalina; C) limite de subgrão caracterizado pelo baixo ângulo entre o plano basal dos cristais. D) limite de grão entre dois cristais de mesma espécie mineral, separadas por um vazio E) limite de fase entre dois diferentes minerais, com um vazio preenchido por fluido. F) limite definido por um plano de geminação no mineral.

Em rochas deformadas é comum a presença de orientações cristalográficas preferenciais (*lattice preferred orientations*), freqüentemente denominada como textura (PASSCHIER; TROUW, 1996). O arranjo sistemático de cristais com formas planares ou prismáticas segundo orientações preferenciais é o elemento que define a foliação ou lineação em uma rocha, podendo muitas vezes ser distinguido macroscopicamente (SPRAY, 1969). Outros minerais tendendo a equidimensionais como o quartzo e a calcita apresentam maiores dificuldades para identificação da textura, mas não requerem técnicas sofisticadas. Esses dados podem ser obtidos através da medida de eixos cristalográficos utilizando-se platina universal, e são frequentemente apresentados em estereogramas (Figura 4.4), facilitando a correlação com propriedades mecânicas.

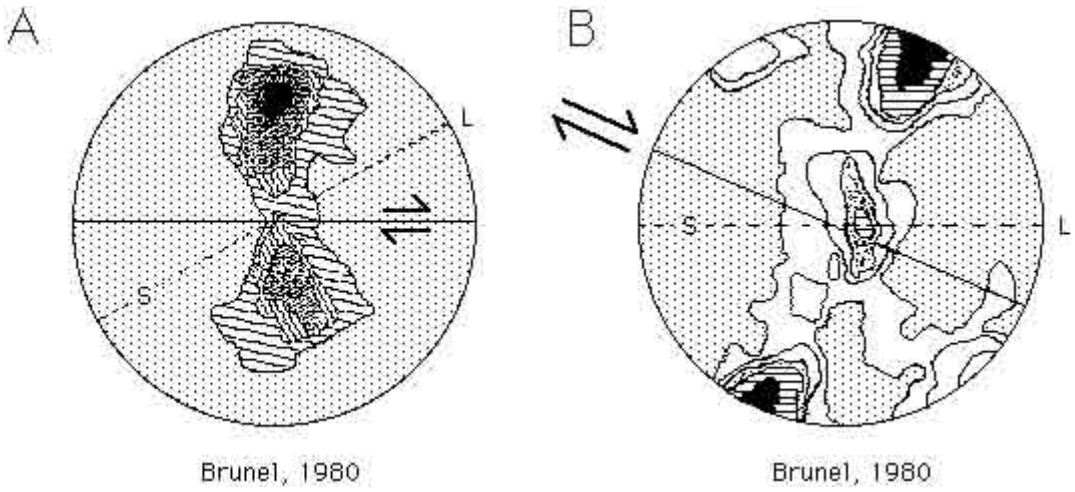


Figura 4.4: Projeção estereográfica (diagrama de igual área) de eixos *c* de grãos de quartzo e sua relação com a foliação (S) e lineação (L). (BRUNEL, 1980).

Schön (1996) considerando diversos autores assinala que gnaisses e xistos apresentam os valores mais altos de anisotropia das propriedades térmicas e que esse fator em rochas ígneas e metamórficas é afetado principalmente pelos constituintes minerais e consequentemente pela anisotropia individual de cada mineral essencial, pela forma e disposição dos minerais (foliação e xistosidade) e pela orientação e geometria das fraturas. De forma análoga observam-se as mesmas relações considerando as velocidades de propagação de ondas elásticas (Vp e Vs).

Em países europeus, particularmente a Alemanha, pesquisas recentes demonstraram que a desagregação mecânica de mármores é iniciada por microfissuras induzidas termicamente (TSCHEGG et al. 1999). Em aprofundamento ao tema, Siegesmund et al. (2000) selecionaram amostras de mármores que foram submetidas a análises texturais, ensaios de dilatação térmica e modelagem da expansão térmica em função das texturas presentes. Constataram assim, que a desagregação mecânica é desencadeada em processos de dilatação térmica e favorecida por características texturais, tais como a orientação preferencial do eixo *c* da calcita.

Weiss et al. (2000) estudando diversas amostras de mármores de uma mesma construção, através de métodos como resistência à compressão conjugada a propagação de ondas ultra-sônicas em amostras esféricas, porosidade, porosimetria de mercúrio e estudos texturais, através de análise de imagens SEM (*scanning electron microscope*) concluíram que pequenas variações de porosidade modificam significativamente a velocidade de propagação

de ondas resultando, portanto, em diminuição da resistência mecânica. Posteriormente, Weiss et al. (2002) mostraram que a anisotropia de velocidade de ultra-som e dilatação térmica de mármores estão intimamente associadas, sendo ambas uma resposta da orientação cristalográfica preferencial freqüentemente exibida por essas rochas. Mostram também que a aplicação de ondas ultra-sônicas é uma ferramenta útil para o controle de qualidade de mármores.

Analisando granitos e gnaisses com granulações diferentes Prikryl (2001) demonstra que rochas com distribuição aleatória dos cristais apresentam baixa anisotropia da resistência mecânica (abaixo de 10%), ao passo que rochas com orientação por forma mais pronunciadas apresentam anisotropia maior. Adiciona ainda que os granitos não podem ser considerados como meios isotrópicos.

Strohmeyer; Siegesmund (2002), comparando rochas graníticas em diferentes estágios de deformação (protomilonítica a ultramilonítica), mostram que as resistências ao desgaste e à compressão são influenciadas principalmente pela orientação cristalográfica dos filossilicatos e microfissuramentos. Entretanto a relação dessas características com os valores de resistência a compressão não é evidente devido aos efeitos causados pelas variações de espaçamento da foliação e da granulação nas rochas de acordo com a deformação que apresentam.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS ESTUDADOS

5.1. Rochas Selecionadas

A seleção de materiais considerou rochas de diferentes composições, texturas e estruturas, obrigatoriamente utilizadas como elemento de revestimento de edificações (preferencialmente como placas polidas) e comercializados no mercado internacional e/ou nacional. A seleção de rochas iniciou-se com a consulta de catálogos comerciais de São Paulo (IPT, 1990; 2000), Espírito Santo (IPT, 1993), Minas Gerais (COMIG, 1999), Bahia (SGM 1994; CBPM, 2002), Goiás (METAGO, 1999), Mato Grosso (DNPM, 1998), Ceará (FUNCAP, 2002), Rio de Janeiro (DRM, 2003), e com base na experiência acumulada em outros projetos desenvolvidos no âmbito do Grupo de Rochas Ornamentais da UNESP - Rio Claro. Na seqüência foram contatadas empresas produtoras para oficializar visitas técnicas às frentes de lavra objetivando a coleta de amostras em blocos com dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm.

As amostras coletadas foram subdivididas inicialmente em quatro grupos definidos com base em critérios mineralógicos, conforme abaixo:

1) Rochas Carbonáticas;
2) Rochas Quartzosas (> 60% quartzo);
3) Rochas Feldspáticas (> 60% feldspatos), e
4) Rochas Quartzo-feldspáticas (>20% quartzo e >40% feldspatos)

As rochas coletadas (Tabela 5.1) são em sua maioria provenientes de jazidas operando em atividade plena ao longo do ano todo, ou sujeitas ao regime de demanda de cada empresa, que em alguns casos significa paralisações por pequenos períodos que, somados, podem chegar a seis meses.

Os materiais selecionados apresentam preços que variam entre US$ 200,0/m^3 e US$ 900,0/m^3, de acordo com informações das empresas visitadas/consultadas. A produção

mensal varia da ordem de 100 a 300 m^3/mês, atingindo em alguns casos 700 m^3/mês. Os destinos de exportação são variados; para Europa é feita predominantemente na forma de blocos, como ocorrem com os tipos coletados em Minas Gerais, e para os Estados Unidos e outros na forma de chapas polidas, caso mais comum para as rochas capixabas.

A rocha Azul Sucuru é quase exclusiva para exportação e foi relançada no mercado como Blue Diamond, durante a Feira Internacional de Vitória, em 2005.

Os tipos Arenito Silicificado, Quartzito Ouro Preto, Preto Apiaí e Rosa Itupeva são comercializados apenas no mercado interno.

Tabela 5.1: Tipos litológicos selecionados e estudados neste trabalho.

grupo	nome comercial	sigla	tipo petrográfico	origem
carbonáticas	Cintilante	CM	dolomita mármore	Cachoeiro do Itapemirim, ES
	Extra	EX	dolomita mármore	
quartzosas	Arenito Silicificado	AS	arenito silicificado	Araraquara, SP
	Imperial Blue	IB	dumortierita quartzito	Macaúbas, BA
	Quartzito Ouro Preto	QOP	quartzito	Ouro Preto, MG
feldspáticas	Marrom Café Imperial	MCF	sienito	Caldas, MG
	Marrom Caldas	MCD	sienito	
	Preto Apiaí	PA	gabronorito	Apiaí, SP
	Preto Piracaia	PP	monzodiorito	Piracaia, SP
quartzo-feldspáticas	Azul Fantástico	AF	monzogranito porfirítico gnaissificado	Bragança Paulista, SP
	Azul Sucuru	AZS	granito porfirítico	Sumé, PB
	Jacarandá	JR	migmatito	Extrema, MG
	Kashimir	KA	granada gnaisse	Nova Venécia, ES
	Preto São Gabriel	PSG	enderbito	São Rafael, ES
	Rosa Itupeva	RI	monzogranito	Itupeva, SP
	Vermelho Bragança	VB	monzogranito porfirítico	Bragança Paulista, SP
	Verde Camacho	VCM	migmatito	Camacho, MG
	Verde Candeias	VCD	migmatito	Candeias, MG
	Vermelho Capão Bonito	VCB	monzogranito	Capão Bonito, SP
	Verde Maritaca	VM	migmatito	Camacho, MG
	Verde Veneciano	VV	gnaisse	Nova Venécia, ES

5.2. Localização e Contexto Geológico das Rochas Selecionadas

Para a coleta de amostras das rochas selecionadas foram realizadas etapas de campo em diversas localidades no Estado de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Paraíba, sendo que a amostra proveniente da Bahia foi fornecida por uma empresa colaboradora.

Visto a escala pontual que as pedreiras visitadas assumem nesse contexto, segue-se uma descrição breve dos principais aspectos geológicos regionais das unidades a que essas rochas pertencem, considerando o Estado de origem. Adicionalmente e de forma breve são mencionados o tipo do jazimento (maciço ou matacão) e os métodos de lavra utilizados.

5.2.1. Rochas do Estado de São Paulo

As rochas ornamentais exploradas no Estado de São Paulo provêm essencialmente do embasamento cristalino que ocupa cerca de 30% da área do Estado em sua faixa leste, havendo produções localizadas na Bacia do Paraná, especificamente o varvito de Itu e o arenito silicificado de Araraquara (ARTUR et al., 2004).

Os terrenos cristalinos, ainda não totalmente conhecidos, são integrantes do Cinturão de Dobramentos Ribeira, que compreende terrenos com idades desde Arqueana até o Eopaleozóico (ARTUR et al., 1988; EBERT et al., 1996; TÖPFENER, 1997; FETTER et al., 2001; TASSINARI; NUTMAN, 2001). De maneira geral compreende grandes seqüências orto- e parametamórficas de baixo, médio e alto graus cortadas e/ou delimitadas por extensas zonas de cisalhamento, além de inúmeros corpos granitóides vinculados à magmatogênese ocorrida no Ciclo Brasiliano.

Dessa extensa área foram selecionados e coletados seis tipos rochosos em contextos geológicos variados e provenientes de três Centros de Mineração Ativos e de uma Região Potencial, conforme apresentado na Figura 5.1.

As rochas Azul Fantástico, Vermelho Bragança e Preto Piracaia, pertencentes ao Centro de Mineração Bragança Paulista, estão inseridas no contexto do Complexo Plurisserial Granítico Socorro (ARTUR et al., 1993; ARTUR, 2003) e representam materiais tradicionais no mercado nacional com bom apelo à exportação, cada vez mais crescente. Os três materiais são lavrados em maciços com utilização de técnicas mecanizadas tradicionais como o uso combinado de marteletes pneumáticos e fio diamantado. O tipo Vermelho Bragança também é lavrado minoritariamente em matacões parcial ou totalmente enterrados (Figura 5.2).

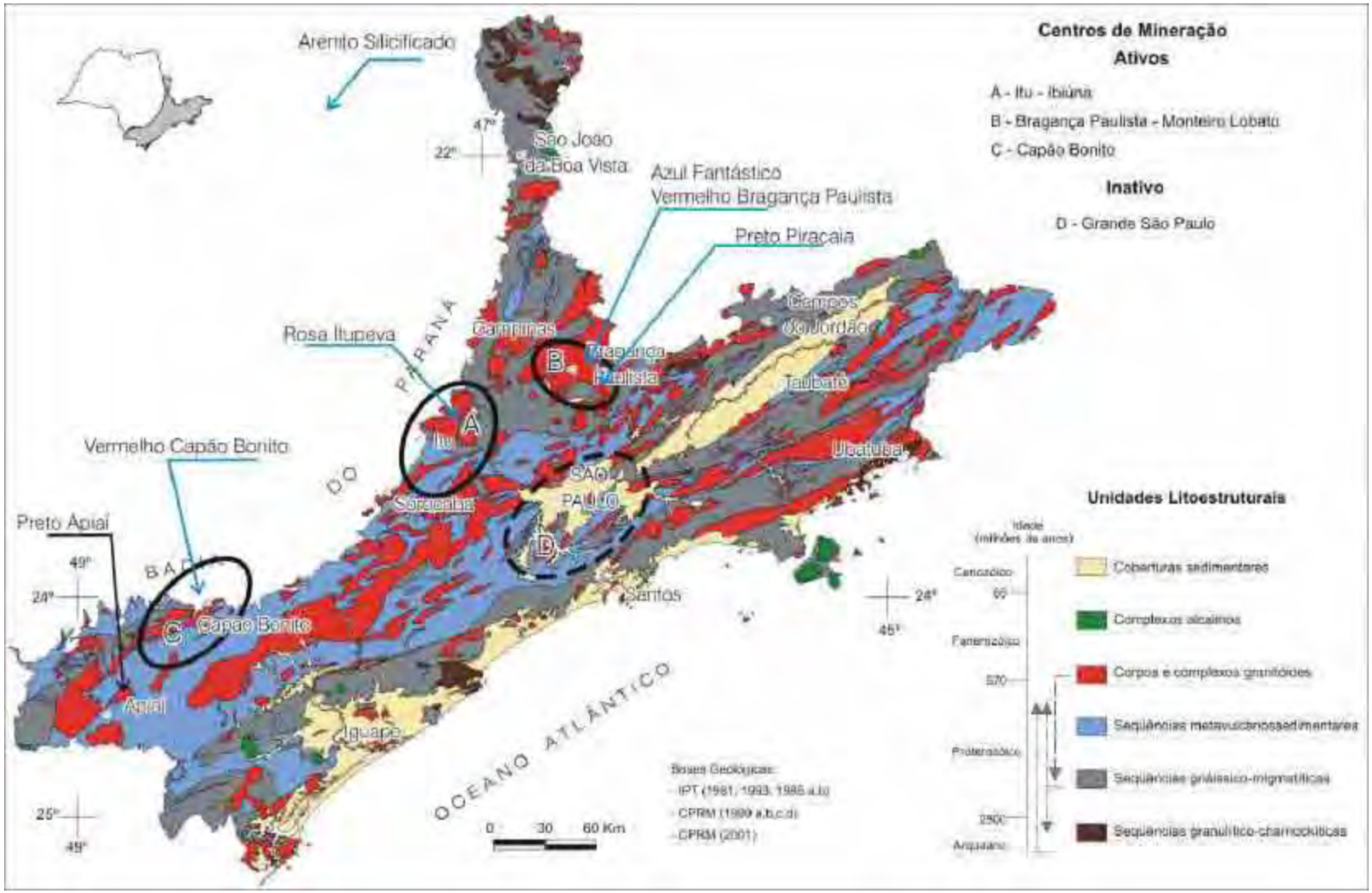


Figura 5.1: Principais unidades litoestruturais do embasamento cristalino e centros de mineração de rochas ornamentais do Estado de São Paulo (ARTUR et al., 2004), com localização das amostras coletadas.

Figura 5.2: Aspectos gerais da lavra das rochas Azul Fantástico (A), Preto Piracaia (B), Vermelho Bragança (C), Preto Apiaí (D), Vermelho Capão Bonito (E), Rosa Itupeva (F) e Arenito Silicificado (G).

O Complexo Granítico Plurisserial Socorro situa-se na porção leste-nordeste do Estado de São Paulo, estendendo-se para áreas circunvizinhas do extremo sul-sudeste do Estado de Minas Gerais. Apresenta área de exposição conhecida superior a 2.000 km^2, e corresponde a uma expressiva manifestação do magmatismo granitóide brasiliano. É composto por quatro suítes plutônicas distintas, representadas, de acordo com Campos Neto et al. (1984) e Artur et al. (1991), por associações de granitóides cálcio-alcalinos megaporfiríticos (Suíte Bragança Paulista), granitóides cálcio-alcalinos equigranulares a porfiríticos (Suíte Salmão), granada granitos peraluminosos crustais (Suíte Nazaré Paulista) e seqüências monzoníticas-monzodioríticas (Suíte Piracaia).

O granito Azul Fantástico ocorre na porção nordeste do Município de Bragança Paulista e corresponde a um monzogranito megaporfirítico gnaissificado, de aspecto geral protomilonítico devido aos efeitos de deformação dúctil-rúptil relacionada às zonas de cisalhamento transcorrente que cortam as rochas graníticas do batólito Socorro e encaixantes do leste do Estado de São Paulo e sul de Minas Gerais. O granito Azul Fantástico integra a Suíte Bragança Paulista (CAMPOS NETO et al., 1984) do Complexo Granítico Socorro, e caracteriza-se como uma seqüência de natureza cálcio-alcalina. É explorado pela Empresa de Mineração BRAMINAS, localizada no Bairro Menim Farias, cerca de 4 km a norte-nordeste da cidade de Bragança Paulista, SP. A lavra ocorre no maciço com o tombamento de pranchas com cerca de 6 m de altura e 15 m de comprimento, destacadas com uso de fio diamantado (cortes de levante e lateral) e marteletes pneumáticos (Figura 5.2A). A produção mensal varia entre 100 m^3 e 200 m^3.

O granito Vermelho Bragança (Figura 5.2C) provém de uma pedreira, também de propriedade da Empresa de Mineração BRAMINAS, localizada nas proximidades leste da cidade de Bragança Paulista, extremo sul do Bairro Mato-Dentro, entre os braços das Represas Jaguari e Jacareí. Trata-se de um monzogranito porfirítico de natureza cálcio-alcalina, uma das variedades graníticas do batólito Socorro que integram a Suíte Salmão (CAMPOS NETO et al., 1984). A produção mensal não ultrapassa 300 m^3 e se dá com o uso de marteletes pneumáticos (matacões) combinados com fio diamantado (quando em maciço).

O “granito” Preto Piracaia provem de uma pedreira situada cerca de um 1 km ao norte da cidade homônima e corresponde a um monzonito médio/fino, levemente inequigranular, pertencente ao Maciço Monzonítico-Monzodiorítico Piracaia (CAMPOS NETO; ARTUR, 1983; JANASI, 1986). Este tipo litológico integra a Suíte Piracaia (ARTUR et al., 1991a), de natureza alcalina transicional. Na atualidade está sendo explorado pela Mineradora Maciel Ltda., sediada na cidade de Bragança Paulista. A lavra com produção mensal de 100 m^3 a

180 m^3 na alta demanda é realizada com o uso quase exclusivo de fio diamantado para o destacamento de pranchas com cerca de 10 m de altura e 6 m de comprimento (Figura 5.2B).

O “granito” Preto Apiaí corresponde a um gabronorito pertencente ao denominado Metagabro de Apiaí, situado na região homônima, distante cerca de 320 km da cidade de São Paulo. O metagabro Apiaí consiste num maciço de rochas básicas, com forma aproximada de *sill*, com cerca de 30 km de extensão e largura entre 1,5 km e 2,5 km, do Proterozóico Superior, e intrusivo em metassedimentos da porção superior do Grupo Açungui (DAITX et al., 1990). São rochas de coloração cinza esverdeado escuro salpicadas por porções esbranquiçadas, com textura subofítica e granulação fina (MANIESI, 1999).

O volume produzido nessa jazida é baixo, devido principalmente ao intenso fraturamento sub-horizontal, localmente complicado por famílias de alto ângulo, que tornam a lavra pouco produtiva (Figura 5.2D). O destacamento dos blocos do maciço é realizado com o uso de fio diamantado, marteles pneumáticos e cunhas mecânicas.

As rochas vendidas sob o nome Vermelho Capão Bonito, originárias do município homônimo, distante cerca de 220 km a sudoeste da capital paulista, referem-se a granitos vermelhos (com tonalidades variáveis) e homogêneos com granulação média a grossa. Esse material, já clássico no mercado, ocorre como matacões semi-enterrados, quando a meia encosta (Figura 5.2E), ou expostos, quando nos topos de morro. Corresponde a rochas do granito Capão Bonito, um corpo pós-tectônico, cálcio-alcalino diferenciado, aflorante no Complexo Três Córregos, dentro do Domínio Açungui (IPT, 1981; 1995).

A lavra desenvolve-se com a furação dos matacões através de marteletes pneumáticos com abertura final por cunhas. O uso de pólvora negra (técnica do fogacho) é raro e restrito ao corte primário de matacões maiores.

O granito Rosa Itupeva ocorre na cidade homônima, onde é explorado em matacões de grande porte (cerca de 100 m^3) parciais ou totalmente enterrados (Figura 5.2F). Pertencente à intrusão Cabreúva do Complexo Granítico Itu (GALEMBECK, 1997), está representado por granitóide de coloração rósea e granulação média a média-grossa e estrutura variando entre isotrópica a discretamente foliada, como o caso das amostras coletadas. A lavra se dá por uso de fogacho para o corte primário e furação manual para a colocação de cunhas durante o corte secundário, uma técnica já ultrapassada, devido à baixa produtividade e riscos de segurança.

A única rocha sedimentar estudada corresponde ao Arenito Silicificado da região de Araraquara, pertencente à Formação Botucatu (SOARES, 1975). Essa rocha é constituída por grãos de quartzo bem arredondados e apresenta estrutura sedimentar plano-paralela e estratificações cruzadas de porte médio, onde com certa freqüência encontram-se preservadas

marcas de pegadas de dinossauros. A silicificação ocorre ora revestindo grãos com textura sintaxial ou em franja de acículas em paliçada.

O processo de lavra é bastante rudimentar e se vale da técnica de desmoronamento utilizando alavancas para o destacamento de grandes "lajes" do corpo rochoso (Figura 5.2G). O corte final é feito manualmente com o uso de marretas e cunhas.

5.2.2. Rochas do Estado de Minas Gerais

No Estado de Minas Gerais foram coletados dois sienitos, provenientes do Centro Produtor Caldas, um migmatito da região de Extrema, próximo à divisa com São Paulo, três variedades charnockíticas do Centro Produtor Candeias e um quartzito do Centro Produtor Ouro Preto (Figura 5.3).

O quartzito Ouro Preto localiza-se na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, situado à meia distância entre a cidade homônima e Mariana. Corresponde a um muscovita-cianita quartzito foliado de granulação fina a muito fina pertencente à Formação Moeda (SILVA et al., 1978, in RADANBRASIL, 1983), seqüência basal do Grupo Caraça (FONSECA et al., 1979) que integra o Supergrupo Minas, no domínio do Quadrilátero Ferrífero. A Formação Moeda é composta essencialmente por quartzitos, geralmente ortoquartzitos, mas podendo conter quantidades variáveis de muscovita e sericita, com presença de níveis conglomeráticos e filíticos que gradam para variedades quartzíticas.

Estes quartzitos se assemelham, em estado bruto, aos quartzitos São Tomé, e quando polidos adquirem aspecto homogêneo, assemelhando-se a mármores. A produção total, com amplo predomínio dos tipos laminados, explorados em cerca de uma dezena de jazidas foi estimada pela COMIG (1999) em 480.000m^2/ano, correspondendo a 27.500 t/ano.

O Centro Produtor Candeias (COMIG, 1999) compreende a região denominada informalmente de Quadrilátero do Granito cujos limites principais são definidos pelas cidades de Formiga, Divinópolis, Oliveira e Campo Belo (VIDEIRA, 1996). Nessa área foram coletados os tipos Verde Camacho, Verde Candeias e Verde Maritaca, que constituem rochas migmatíticas a diatexíticas de composição charnockítica, com coloração esverdeada e granulação média a fina, com estruturas migmatíticas variando entre dobrada, flebítica, e nebulítica, mais ou menos gnaissificadas.

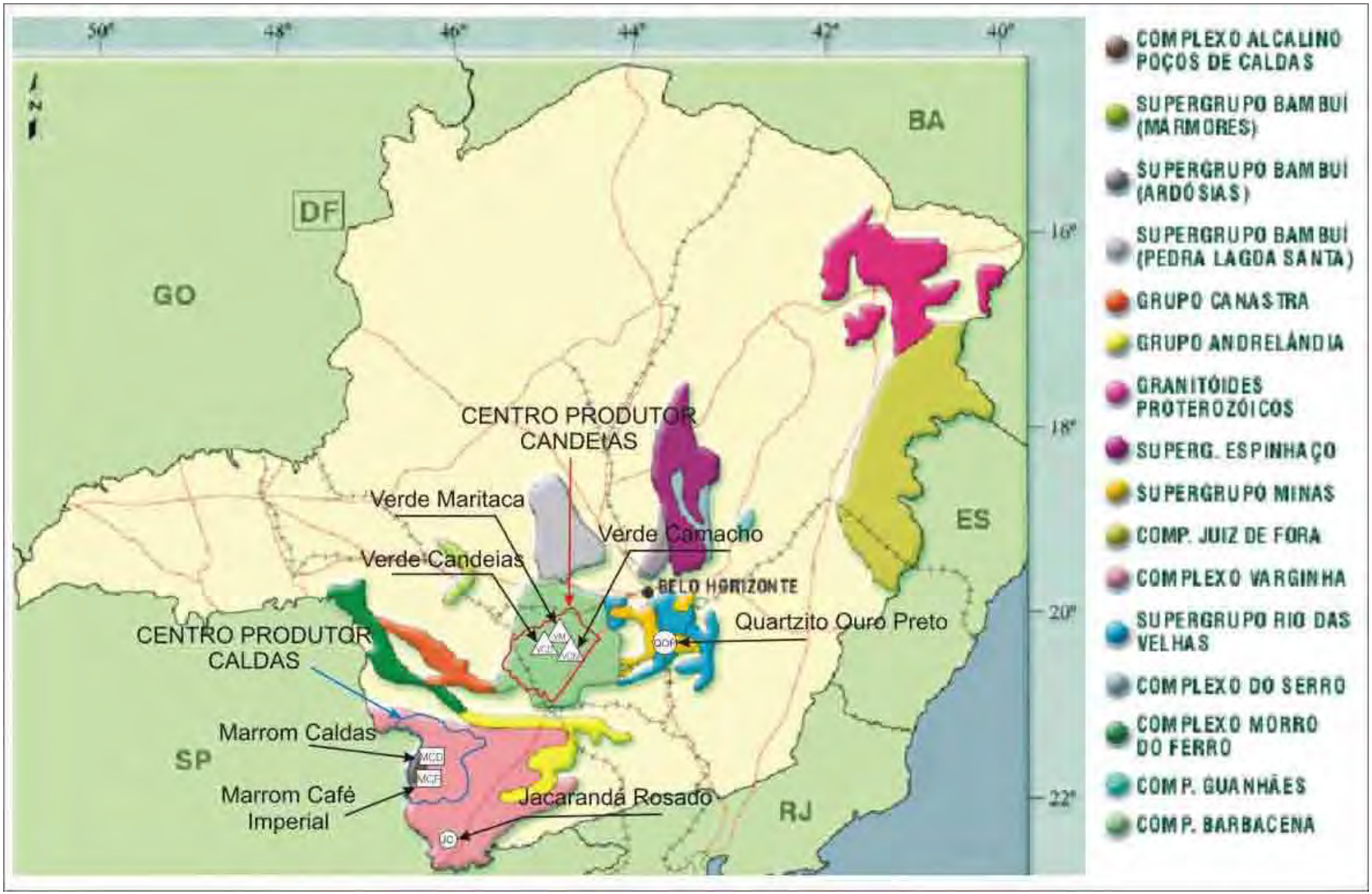


Figura 5.3: Esboço do contexto geológico das amostras coletadas nos Centros Produtores de Rochas Ornamentais Ouro Preto, Candeias e Caldas do Estado de Minas Gerais (modificado de COMIG, 1999).

Geologicamente esse domínio enquadra-se no denominado Complexo Barbacena (FONSECA et al., 1979) ou Complexo Divinópolis (MACHADO FILHO et al., 1983), de idade Arqueana, e caracterizado pela ocorrência de um conjunto de rochas gnáissico-migmatíticas com predominância de metatexitos e diatexitos heterogêneos com paleossomas xistosos básicos a ultrabásicos e neossomas granodioríticos a graníticos. Outras propostas de divisão dessas áreas são comentadas por Oliveira (1999), como por exemplo a denominação de Complexo Metamórfico Campo Belo proposta por TEIXEIRA et al. (1996), que abrange o Complexo Barbacena e o Complexo Metamórfico Divinópolis.

Oliveira et al. (1998) identificaram três grandes unidades gnáissicas no Complexo Campo Belo. A primeira corresponde a uma unidade de rochas de coloração verde, ocorrendo nas proximidades de Candeias e Camacho. O segundo tipo compreende gnaisses de coloração rósea aflorantes nas proximidades de Itapecirica, e a terceira unidade refere-se a gnaisses de coloração cinza nas imediações de Cláudio e Carmópolis de Minas. Na seqüência dos trabalhos Oliveira (1999) denomina essas unidades como “gnaisses de coloração verde tipo Candeias”, “gnaisses de coloração rósea tipo Itapecirica” e “gnaisses de coloração cinza tipo Cláudio”. Os gnaisses verdes apresentam composição charnockítica (Verde Camacho e Verde Maritaca) nos domínios mais homogêneos e composição opdalítica nos mais deformados (Verde Candeias). Os gnaisses róseos apresentam composição granítica e os do tipo cinza são granodioríticos a dioríticos e, localmente, graníticos. As três unidades podem estar cortadas por anfibolitos *boudinados*, feição que pode causar alguns problemas de perda durante a fase de lavra quando para fins ornamentais e como materiais para revestimentos.

O Centro Produtor Caldas situa-se, segundo levantamentos da COMIG (1999), nos domínios dos terrenos geológicos do Complexo Varginha (englobando a variedade Jacarandá Rosa), do Maciço Sienítico Pedra Branca (englobando as variedades Marrom Café Imperial e Marrom Caldas) e do Complexo Alcalino Poços de Caldas.

O Complexo Varginha tem sido alvo de muitos trabalhos e sua compartimentação e história evolutiva ainda não estão bem delineados (ZANARDO, 1992). Cavalcante et al. (1979) denominaram de Complexo Varginha todo o bloco alóctone de Guaxupé, com rochas originadas no Proterozóico Médio e recicladas no Ciclo Brasiliano. Desta forma o Complexo Varginha seria, grosso modo, uma unidade de formato triangular limitado ao norte, sudeste e oeste, respectivamente pelas zonas de cisalhamento de Campo do Meio e Ouro Fino e pelos sedimentos da Bacia do Paraná; fato este que situaria a área da pedreira do Jacarandá Rosa fora do domínio do referido complexo. Fonseca et al. (1983) ampliaram a área de exposição para além do limite sul do bloco alóctone Guaxupé, considerando também as seqüências

gnáissico-migmatíticas do Bloco Jundiaí, onde insere-se a variedade Jacarandá Rosa. Já, segundo a concepção de Wernick e Penalva (1973; 1980) a região de ocorrência da rocha ornamental Jacarandá Rosado se situaria na porção norte do Bloco Tectônico Jundiaí e representada pela seqüência gnáissico-migmatítica do Grupo Pinhal, de idade Brasiliana.

Litologicamente a região de interesse está representada por migmatitos bastante evoluídos, predominantemente rosados, incluindo seqüências com variedades que gradam desde metatexitos, diatexitos, anatexitos até granitos anatéticos, freqüentemente polifásicos. Exibem estruturas migmatíticas complexas e variadas incluindo termos acamados, dobrados, flebíticos, nebulíticos e homofânicos, mais ou menos gnaissificados. Segundo Wernick; Penalva (1980), em alguns casos formam complexos maiores com típico arranjo concêntrico dos migmatitos circundando núcleos graníticos anatéticos. O granito Jacarandá Rosado corresponde, em termos gerais, a um migmatito róseo de granulação média-fina com estrutura nebulítica, por vezes foliada e dobrada.

O Maciço Sienítico Pedra Branca, intrudido nas rochas do Complexo Varginha de Cavalcante et al. (1979) ou Grupo Pinhal de Wernick; Penalva (1973), apresenta formato de meia-lua com sienitos saturados a insaturados na parte externa, e sienitos e quartzo-sienitos na parte interna, os quais se encontram em contato com as rochas do Complexo Alcalino Poços de Caldas (WINTERS, 1981; ULBRICH, 1984). A estrutura de fluxo plástico definida pela isorientação dos cristais tabulares de feldspato é uma feição peculiar aos sienitos desse maciço, que produz as rochas Marrom Café Imperial e Marrom Caldas. Ambas exibem coloração marrom e a segunda freqüentemente ocorre em tonalidades mais rosadas. A granulação é predominantemente média e a estrutura de fluxo plástico ocorre em ambas, sendo planar e mais definida na primeira e convoluta e mais discreta na última.

Esses tipos rochosos ocorrem na forma de maciços amplos cobertos por delgada camada de solo ou expostos, onde a lavra da rocha se desenvolve com o uso de fio diamantado e marteletes pneumáticos e cunhas (Figura 5.4B a G). Na lavra do tipo Verde Camacho também é comum o uso de jato de chama e por vezes massa expansiva (esta em fase de teste).

O granito Verde Maritaca (Figura 5.4D) ocorre praticamente como matacões enterrados e sua extração se dá com marteletes pneumáticos e cunhas, sendo comum o uso de fogacho para os corte primários, especialmente em grandes volumes. O tipo Verde Candeias ultimamente tem sido produzido a partir de matacões, caso do material amostrado (Figura 5.4C), embora mais comum como maciço aflorante.

Figura 5.4: Aspectos gerais das lavras dos tipos Quartzito Ouro Preto (A), Verde Camacho (B), Verde Candeias (C), Verde Maritaca (D), Jacarandá Rosado (E), Marrom Café Imperial (F) e Marrom Caldas (G).

5.2.3. Rochas do Estado do Espírito Santo

O Estado do Espírito Santo é o principal produtor brasileiro de rochas ornamentais (CHIODI FILHO, 2000), no entanto o conhecimento geológico é restrito a trabalhos em escala regional que não abrangem todo o estado (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, publicados pelo CPRM) e outros trabalhos em escala mais localizada.

As amostras coletadas nesse estado referem-se aos mármores Cintilante Mesclado e Extra, no Distrito de Gironda em Cachoeiro de Itapemirim (ao sul do Estado), ao enderbito Preto São Gabriel em São Rafael (porção central do Estado), e aos gnaisses Kashimir e Verde Veneciano, na região de Nova Venécia, ao norte do Estado (Figura 5.5).

Os mármores provenientes de Gironda ocorrem em lentes de composição dolomítica a calcítica com tonalidades predominantemente brancas ou esbranquiçadas, variando para rosa, azulado, "chocolate", "pinta verde" e outros. As lentes são alongadas em sentido NE-SW, que associadas a outras lentes de quartzitos, xistos e rochas calco-silicatadas, intercaladas em gnaisses graníticos a tonalíticos, pertencem ao Complexo Paraíba do Sul (PLGB, 1997).

O tipo denominado neste trabalho como Preto São Gabriel ocorre no município de São Rafael (Figura 5.5), cerca de 20 km a nordeste de Colatina. Trata-se de um charno-enderbito gnáissico de cor cinza escuro a esverdeado, com foliação incipiente a marcante, constituindo lentes quilométricas alongadas em sentido NNE-SSW, sobrepostas aos pacotes de biotita-granada gnaisses e sillimanita-granada gnaisses pertencentes ao Complexo Paraíba do Sul (PLGB, 1993a). Localmente há variações na granulação, que culminam com a presença de megacristais feldspáticos caoticamente distribuídos pela matriz. Deve-se ressaltar que essa rocha não se assemelha em nada ao tipo Preto São Gabriel mencionado em IPT (1993), que se refere a um norito ocorrente no município homônimo, cerca de 80 km ao norte de Colatina.

Os tipos Kashimir e Verde Veneciano correspondem, respectivamente, a um granada gnaisse branco com pontuações róseas do Complexo Paraíba do Sul, e a granada gnaisse charnockítico verde escuro, pertencente aos corpos de dimensões quilométricas do Complexo Medina, ocorrente nos arredores de Nova Venécia (Figura 5.5).

Essas rochas são lavradas em minas de porte médio a grande e produção entre 400 m^3/mês e 1000 m^3/mês. Utilizam tecnologia moderna e geralmente equipamentos novos. O desmonte de grandes pranchas (corte primário) é feito com o uso exclusivo de fio diamantado ou combinado com marteles pneumáticos e cunhas (Figura 5.6). O corte secundário para a obtenção dos blocos finais é feito com marteletes e cunhas, gradual e crescentemente substituído por massa expansiva (caso do Preto São Gabriel e Verde Veneciano).

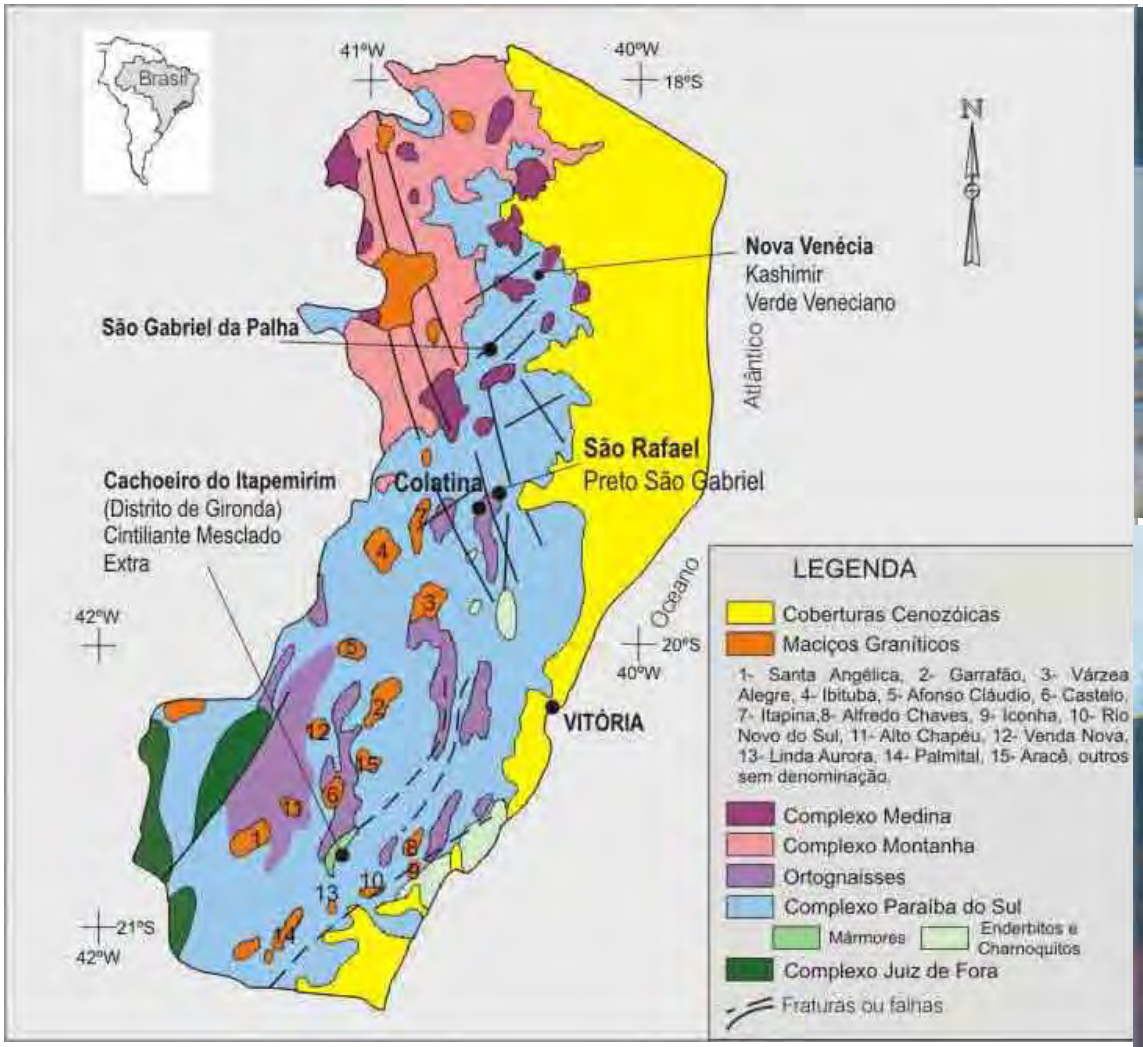


Figura 5.5: Esboço geológico do Estado do Espírito Santo (modificado de IPT, 1993) com a localização aproximada das amostras coletadas.

Figura 5.6: Lavras dos mármores Cintilante Mesclado e Extra (A) e do granito Preto São Gabriel (B).

5.2.4. Rocha do Estado da Bahia

Material proveniente de Macaúbas e refere-se a dumortierita-muscovita quartzito com cianita pertencente à Formação Serra da Vereda, integrante do Grupo Oliveira dos Brejinhos (SCHOBBENHAUS, 1996), ou Grupo Santo Onofre na concepção estratigráfica de Porcher (1970) e Schobbenhaus (1972). Destaca-se que ocorrências de rochas similares à analisada são encontradas nas cidades de Boquira e Oliveira dos Brejinhos, também na Bahia (Figura 5.7).

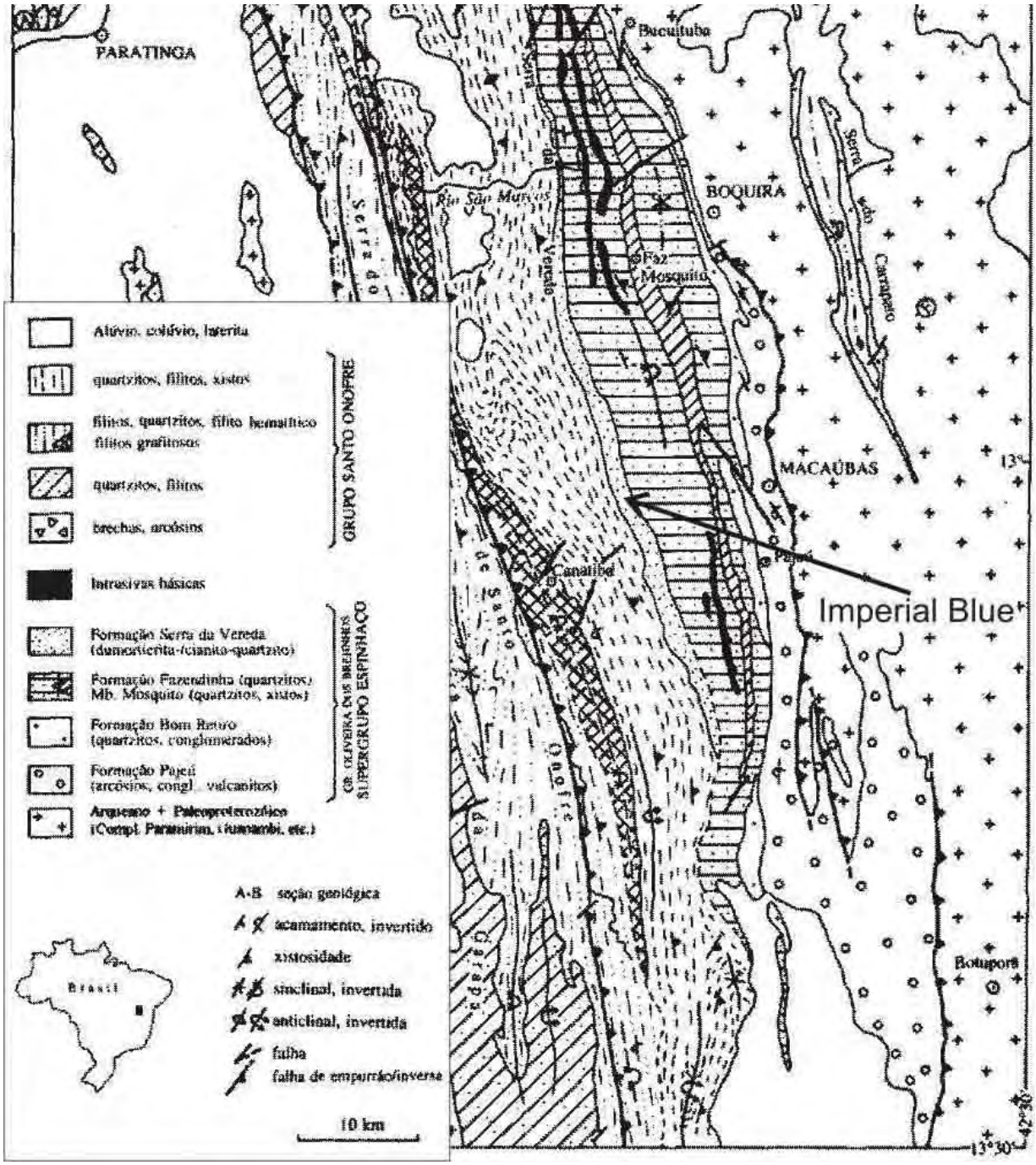


Figura 5.7: Contexto geológico da amostra Imperial Blue. (Mapa geológico de parte da Serra do Espinhaço setentrional, Bahia. (Modificado de Schobbenhaus, 1996).

Figura 5.8: Lavra do quartzito Imperial Blue em Oliveira dos Brejinhos, BA. (Foto de J.R. Pinheiro).

Segundo descrições apresentadas por Schobbenhaus (1996) e principalmente por Danderfer; Dardenne (2002), a Formação Serra da Vereda enquadra-se no contexto das unidades do Supergrupo Espinhaço e está representada por uma seqüência metassedimentar areno-conglomerática com marcantes variações laterais e verticais. As variedades litológicas compreendem conglomerados e microconglomerados oligomíticos ortoquartzíticos e diamactitos arenosos, localizados preferencialmente na base da seqüência, arenitos composicionalmente variando entre quartzo-arenitos, arenitos feldspáticos a líticos e raros metapelítica, contendo em sua porção intermediária um horizonte com cerca de 10m de espessura de metarenitos com dumortierita e/ou cianita (SCHOBBENHAUS, 1972; COSTA; SILVA, 1980).

A lavra desse material ocorre com desmonte dos cortes primários com fio diamantado em todas as faces dos blocos, e representam o único caso de mina subterrânea no país (Figura 5.8), embora existam na região diversas outras minas de materiais semelhantes que utilizam técnicas tradicionais de lavra a céu aberto.

5.2.5. Rocha do Estado da Paraíba

O Granito Azul Sucuru, relançado na Feira Internacional de Vitória 2005 sob o nome “Blue Diamond”, ocorre na localidade homônima, no Município de Sumé, interior da Paraíba (Figura 5.9). Os trabalhos realizados no âmbito do projeto Sumé (CPRM, 2000) inserem essa ocorrência no Sistema de Dobramentos Pajeú-Paraíba, onde se identifica os complexos Gnáissico-Aluminoso Sertânia, Sumé e Surubim-Caroalina.

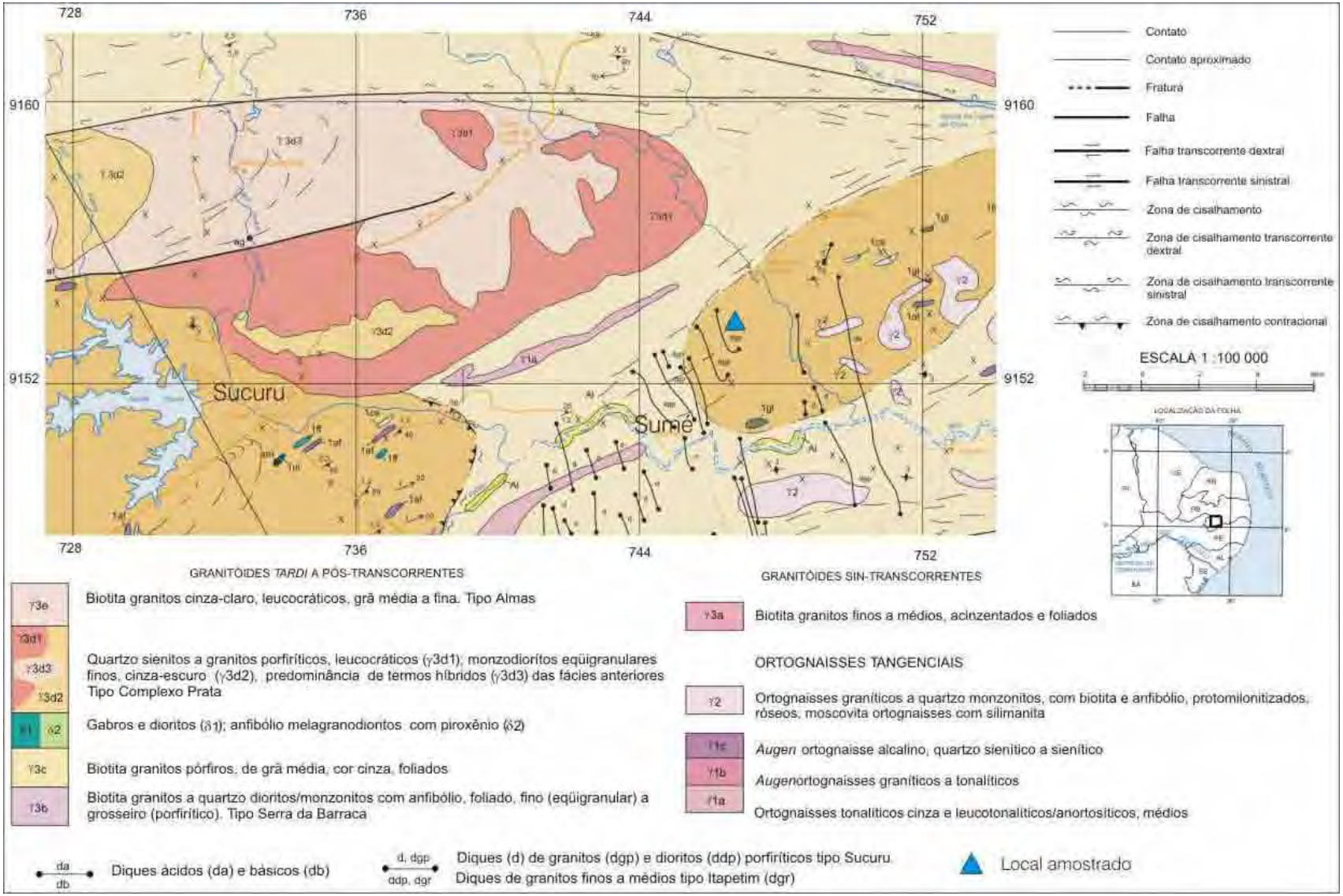


Figura 5.9: Contexto geológico da amostra Azul Sucuru (modificado de CPRM, 2000).

A área de ocorrência do Granito Azul Sucuru corresponde um enxame de diques alongados com direção NNW e comprimento variando de 50 m a 700 m que cortam os metassedimentos aluminosos (biotita gnaisses com granada e sillimanita) do Complexo Gnáissico-Aluminoso/Sertânia. Menos freqüentemente cortam os gnaisses claros do Complexo Sumé, a NE de Sucuru.

Os diques são de quatro tipos (CPRM, 2000): 1) granitos porfiríticos (dgp) com fenocristais de microclínio e quartzo azul, imersos numa matriz cinza-escura, milonitizada, de granulação fina a média, correspondentes aos comercializados como Azul Sucuru; 2) microdiorito porfirítico (ddp) com fenocristais ovóides e arredondados de plagioclásio em matriz cinza afanítica, composto essencialmente por plagioclásio, ferromagnesianos (piroxênio?), quartzo e pouco microclínio; 3) diques ácidos compostos essencialmente por quartzo, biotita e feldspatos; e 4) diques básicos com amigdalas, compostos por quartzo, feldspato e anfibólios.

Os diques em sua porção aflorante consistem em uma série de grandes matacões alinhados facilitando a lavra que se desenvolve pelo destacamento de blocos com dimensões entre 8 m^3 e 10 m^3 com marteletes pneumáticos e cunhas (Figura 5.10).

Figura 5.10: Aspecto geral da jazida do granito Azul Sucuru.

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

As rochas estudadas, num total de 21 tipos petrográficos diferentes, foram agrupadas em quatro grupos principais em função da mineralogia essencial, representando variedades carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas. As rochas de cada grupo assim definido foram agrupadas com base na natureza genética, isto é, sedimentares, magmáticas e metamórficas (Figura 6.1).

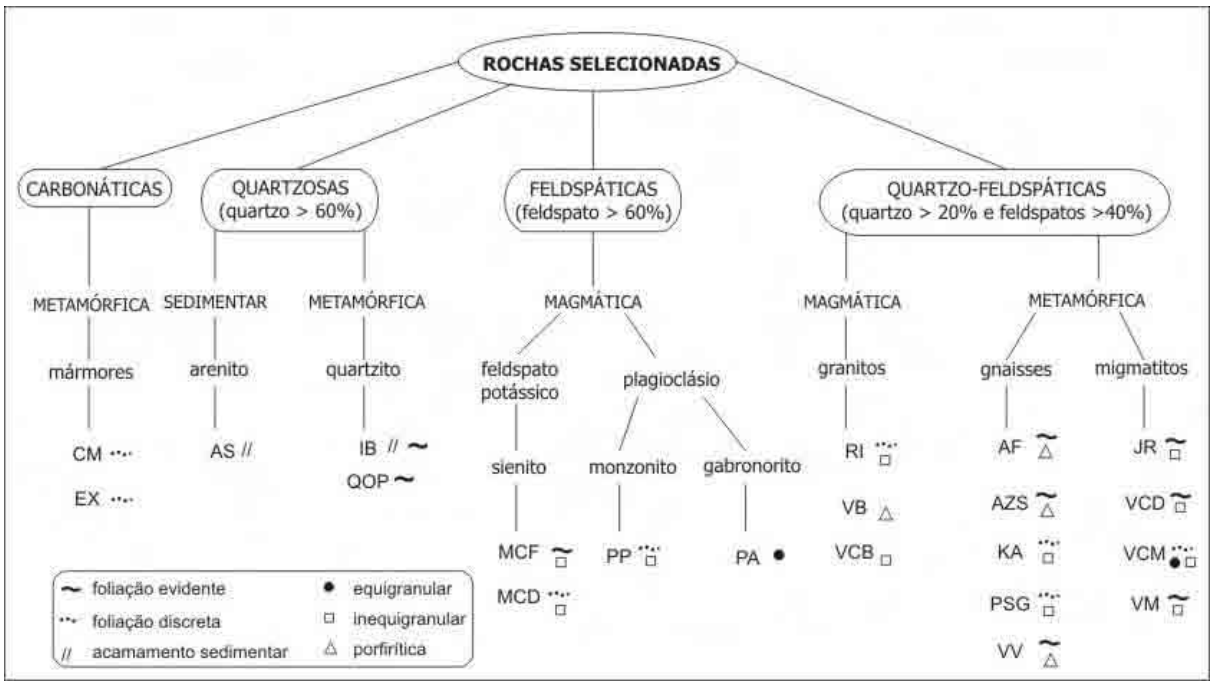


Figura 6.1: Agrupamento das rochas selecionadas com base em critérios mineralógicos e genéticos, e atributos estruturais e texturais. (Siglas das amostras na Tabela 5.1, página 34).

Os resultados das análises petrográficas são apresentados com comentários breves referentes a cada um dos grupos selecionados e acompanhados de tabelas síntese com porcentagem mineral, porcentagem de área alterada e dados do microfissuramento para as três seções analisadas, bem como a classificação petrográfica de cada rocha. Os dados de microfissuramento aqui apresentados serão discutidos mais detalhadamente no Capítulo 7 -

Microfissuramento e Alteração Mineral. Uma descrição mais pormenorizada das amostras é apresentada ao final de cada um dos quatro grupos considerados.

No caso das rochas carbonáticas apenas mármores foram considerados, já as rochas quartzosas, abrangem uma rocha sedimentar (arenito) e duas metamórficas. As quatro rochas feldspáticas consideradas são de origem magmática, embora mostrem algum grau de deformação (conforme as respectivas descrições), e foram subdivididas em rochas à base de "feldspato potássico", compreendendo dois sienitos, e rochas à base de "plagioclásio", para aquelas com predomínio desse mineral. O último grupo, o das rochas quartzo-feldspáticas, abrange 12 rochas, onde três são magmáticas (granitos típicos) e as demais metamórficas, envolvendo gnaisses e migmatitos, com ampla variação mineralógica (Figura 6.2).

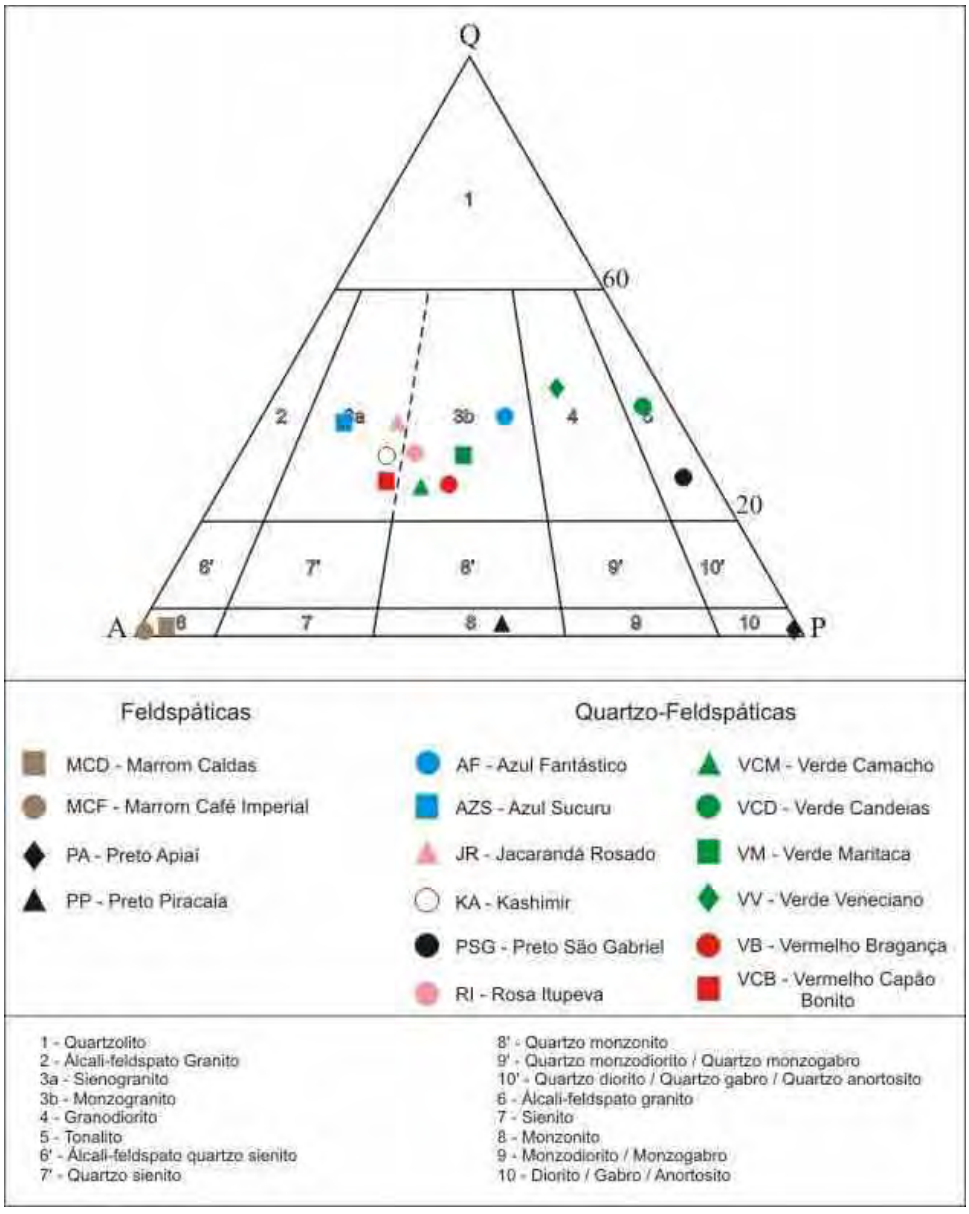


Figura 6.2: Classificação das rochas feldspáticas e quartzo-feldspáticas estudadas no diagrama QAP da International Union Geological Society - IUGS (LE MAITRE, 1989).

6.1. Rochas Carbonáticas

As duas amostras selecionadas correspondem a dolomita mármores praticamente monominerálicos, com cerca de 95% de dolomita (Tabela 6.1), e são produtos tradicionais do sul do Espírito Santo. Ambas apresentam cor branca, foliação discreta a ausente e textura granoblástica, variando entre sacaroidal e poligonizada (Figura 6.3). A diferença principal entre as duas é a granulação ligeiramente mais grossa da amostra EX, e a foliação pouco mais evidente na amostra CM.

Tabela 6.1: Síntese de descrição petrográfica para as rochas carbonáticas analisadas.

Mineralogia (%)	**CM (Cintilante Mesclado)**				**EX (Extra)**			
	xy	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**
Dolomita	92,7	94,4	93,4	93,5	96,3	94,8	95,7	95,6
Calcita	6,1	4,1	4,9	5,0	3,7	5,2	4,3	4,4
Diopsídio	0,8	0,9	1,2	1,0	--	--	--	--
Apatita	0,4	0,6	0,5	0,5	TR	TR	TR	TR
Flogopita	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	isotrópica/ foliação discreta				isotrópica/ foliação discreta			
granulação média	fina a média-fina				média-fina a média			
contatos predominantes	côncavo-convexos, lobulados e planos				plano (poligonal) localmente associado a côncavo-convexos			
microfissuras/mm^2	2,20	3,09	2,65	2,64	2,64	2,51	2,44	2,53
comprimento médio (µm)	339,4	340,7	382,8	354,3	419,5	396,9	484,3	433,6
coeficiente de variação	0,55	0,56	0,55	0,55	0,62	0,59	0,60	0,60
área alterada (%) *	5,88	4,72	2,99	4,53	4,85	4,16	3,07	4,03
CLASSIFICAÇÃO	**dolomita mármore com diopsídio**				**dolomita mármore**			

* refere-se a cristais com feições de dissolução

Cintilante Mesclado – CM (dolomita mármore com diopsídio)

Mármore de composição dolomítica e cor branca, homogênea, com foliação pouco evidente, típica textura granoblástica sacaroidal, com esparsas pontuações esverdeadas e/ou acastanhadas, que localmente podem formar veios sub-centimétricos a centimétricos, que inspiram o termo “Mesclado” de sua designação comercial. A granulação varia de fina a fina-média, com raros cristais atingindo granulação média (4,0 mm). Os contatos minerais são côncavo-convexos, lobulados e planos, definidos por cristais subedrais. O microfissuramento é fraco a moderado, caracterizado por planos intragrão comunicantes ou não e que por vezes cortam transversalmente planos de clivagem, os quais são observados com maior nitidez nos planos *yz* e *xy*. A composição mineralógica modal, determinada segundo os planos *xy* , *yz* e *xz*, e respectiva média está na Tabela 6.1.

	ASPECTO MACROSCÓPICO	ASPECTO MICROSCÓPICO
Cintilante Mesclado		
Extra		

Figura 6.3: Aspectos macro e microscópico (polarizadores paralelos) dos mármores Cintilante Mesclado (CM) e Extra (EX).

Descrição Mineralógica:

- Dolomita: principal mineral presente e caracteriza-se por grãos subedrais de dimensões variável entre fina e média-fina (< 0,5 mm a 3,0 mm), predominando grãos com 1,0 mm a 2,0 mm. Os contatos mais freqüentes são os planos e os côncavo-convexos a lobulados. Ao microscópio observam-se diversos contatos minerais estão preenchidos por óxidos de ferro que conferem coloração acastanhada. O microfissuramento é médio a fraco, caracterizado por planos intragrão. Alguns cristais apresentam inclusões fluídas que se dispõe de forma linear ao longo de planos de fratura cicatrizados. Os grãos estão bem recristalizados com apenas alguns poucos cristais apresentando discreta extinção ondulante.
- Calcita: constitui veios milimétricos que possuem uma quantidade relativamente elevada de óxidos de ferro e outras impurezas, que lhe conferem cor acastanhada ao microscópio. Apresenta intenso microfissuramento transversal ao sentido do veio.
- Acessórios: diopsídio constitui cristais prismáticos acinzentados com comprimento de 0,2 mm a 1,0 mm, raramente 3,0 mm, com bordas planas regulares a onduladas. A apatita ocorre como grãos dispersos com granulação média de 0,3 mm. O zircão ocorre como finas inclusões nos veios de calcita. A flogopita é bastante rara e ocorre como lamelas submilmétricas.

Extra – EX (dolomita mármore)

Corresponde a um mármore dolomítico de intensa cor branca, homogêneo com aspecto compacto, localmente com discreta foliação e textura granoblástica típica sacaroidal a poligonizada. O nome atual é uma simplificação do termo "Branco Extra", dado em alusão à cor branca intensa e do aspecto cintilante que os planos de clivagem exibem quando expostos ao sol. A granulação varia de média-fina a média, predominando os termos entre 1,5 mm e 3,0 mm. Os cristais são euedrais a subedrais com contatos do tipo plano que formam padrão poligonal, ora bem definido ora não, devido à associação com contatos côncavo-convexos, estes mais raros. O microfissuramento é fraco a intenso em poucos grãos e caracteriza-se por planos intragrão que podem apresentar comunicação entre si. A composição mineralógica modal, determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, e respectiva média está na Tabela 6.1.

Descrição Mineralógica:

- Dolomita: ocorre como cristais euedrais a subedrais com dimensões de média-fina a média, predominando grãos com 1,5 mm a 3,0 mm. São cristais bem recristalizados, sem microestruturas, e afetados por microfissuramento médio a forte com planos intragranulares. Os contatos planos definem textura em polígono, que por vezes não é muito nítida devido à presença de contatos côncavo-convexos em algumas faces dos cristais. Alinhamentos de inclusões fluídas ocorrem selando fraturas. Cavidades por dissolução ao longo de planos de clivagem são comuns e podem ser mais freqüentes nas bordas dos cristais. Tais cavidades estão preenchidas por películas de hidróxidos e óxidos de ferro, que conferem aspecto sujo aos cristais quando observados ao microscópio.
- Apatita ocorre como grãos com dimensões médias de 0,2 mm dispersos pela rocha. A flogopita constitui cristais lamelares inferiores a 0,2 mm e bordas planas.

6.2. Rochas Quartzosas

As rochas quartzosas correspondem a uma rocha sedimentar (AS) e a duas metamórficas com graus diferentes de recristalização do quartzo (Tabela 6.2). O acamamento sedimentar da amostra AS varia entre plano-paralelo e cruzado, que definem a anisotropia mais marcante desse grupo, mas, por suas características genéticas, não significa orientação preferencial dos minerais. Para a realização dos ensaios mecânicos consideraram-se apenas as amostras com estratificação plano-paralela.

A mineralogia dos dois quartzitos estudados é muito semelhante, sendo que o tipo IB apresenta cerca de 10% menos de quartzo e 10% menos de cianita, que dão lugar ao acessório dumortierita, mineral ausente na amostra QOP.

Tabela 6.2: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzosas analisadas.

Mineralogia (%)	AS (Arenito Silicificado)				IB (Imperial Blue)				QOP (Quartzito Ouro Preto)			
	xy	yz	xz	média	xy	yz	xz	média	xy	yz	xz	média
Quartzo	--	--	--	--	64,6	54,4	62,1	60,4	75,0	73,4	69,1	72,5
Quartzo detrítico	64,8	63,7	62,8	63,8	--	--	--	--	--	--	--	--
Sílica (microcristalina e acicular)	29,6	31,6	33,4	31,5	--	--	--	--	--	--	--	--
Muscovita	--	--	--	--	19,2	28,3	19,1	22,2	10,0	10,3	15,5	11,9
Dumortierita	--	--	--	--	10,2	11,0	13,3	11,5	--	--	--	--
Cianita	--	--	--	--	5,9	5,9	5,4	5,7	14,9	15,7	14,3	15,0
agregados de manganês	2,9	2,2	1,5	2,2	--	--	--	--	--	--	--	--
Feldspatos	2,7	2,5	2,3	2,5	--	--	--	--	--	--	--	--
Acessórios (micas, zircão, turmalina, opacos)	TR	TR	TR	TR	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,6	1,1	0,6
Secundários	--	--	--	--	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	acamamento sedimentar plano paralelo				acamamento sedimentar (bandamento textural) em alto ângulo com a foliação				foliação evidente (paralela ao acamamento sedimentar)			
granulação média	muito fina a fina				fina a média-fina				fina a muito fina			
contatos predominantes	arredondados				côncavo-convexos a lobulados (localmente poligonizados)				planos, côncavo-convexos e lobulados			
microfissuras/mm^2	1,76	2,01	2,69	2,16	1,09	1,39	1,17	1,22	0,57	0,71	1,13	0,80
comprimento médio (µm)	154,1	186,0	181,7	173,9	136,7	158,2	177,4	157,5	111,0	83,5	108,6	101,1
coeficiente de variação	0,38	0,42	0,39	0,39	0,53	0,63	0,61	0,59	0,58	0,43	0,53	0,52
área alterada (%)	3,19	2,72	4,32	3,41	0,33	0,66	0,77	0,59	1,39	1,56	2,15	1,76
CLASSIFICAÇÃO	**arenito silicificado**				**dumortierita-muscovita quartzito com cianita**				**muscovita-cianita quartzito**			

A foliação na amostra QOP é muito bem marcada e melhor definida nos planos onde se concentra a muscovita, uma característica que favorece a lavra. A rocha IB apresenta duas estruturas planares que correspondem ao acamamento sedimentar e à foliação metamórfica que formam alto ângulo entre si. As feições estéticas mais marcantes são as “venulações” de tonalidade azulada, dada pela concentração da dumortierita nos planos que marcam a foliação. Ambas apresentam bom engrenamento mineral e textura granoblástica, sendo que IB tem porções granolepidoblástica (Figura 6.4).

Arenito Silicificado - AS

Rocha sedimentar procedente de Araraquara (SP), com coloração rósea esbranquiçada a avermelhada, por vezes ocre (quando intemperizada), com estratificação plano-paralela e cruzada. Algumas manchas de coloração escura formam nódulos cujo centro é esbranquiçado. A presença de moldes de pegadas de dinossauros de dimensões e formatos variados é bastante comum.

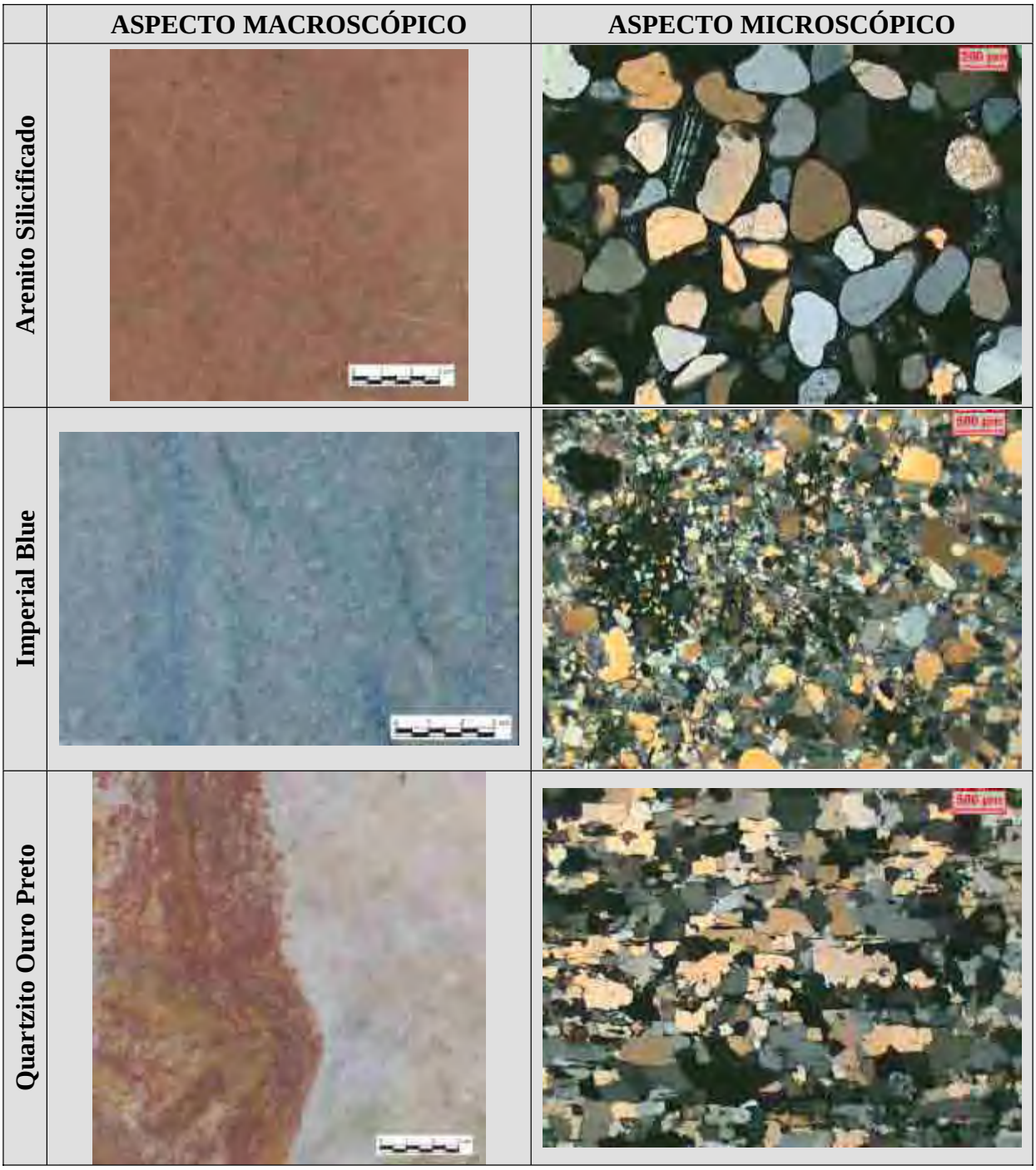


Figura 6.4: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Arenito Silicificado, Imperial Blue e Quartzito Ouro Preto.

Trata-se de um arenito com granulometria muito fina a fina constituída por grãos bem selecionados, arredondados a bem arredondados e elevado grau de esfericidade, embora ocorram esparsos grãos alongados. O empacotamento sedimentar resultou em um arcabouço com espaços intergranulares ora preenchidos por sílica microcristalina que pode revestir os grãos ou, o que é mais raro, formando quartzo dispostos em franjas de acículas em paliçada ou radiais preenchendo os poros das bordas para o centro.

Por vezes os grãos de quartzo detríticos apresentam contato pontual direto, típico de empacotamento mecânico. A composição modal está na Tabela 6.2.

Descrição Mineralógica:

- Quartzo: define o arcabouço da rocha com grãos detríticos arredondados a bem arredondados, com boa esfericidade e raramente alongados. São grãos monocristalinos em sua grande maioria, embora ocorram raros grãos poli-cristalinos. Alguns exibem películas de óxidos de ferro que também podem preencher os raros planos de fratura.
- Sílica: ocorre como agregados microcristalinos maciços ou micropontuações concentradas que envolvem os cristais de quartzo detríticos e preenche os poros da rocha. Em alguns casos está organizada na forma de franjas aciculares disposta em paliçadas ou radialmente.
- Agregados de manganês criptocristalinos: formam pequenos nódulos com dimensões de até 0,3 mm que ocupam espaços entre os grãos de quartzo detríticos. Freqüentemente está associado ao óxido de ferro, que nesse caso confere coloração avermelhada aos nódulos.
- Feldspatos: corresponde a cristais de hábito tabular pouco arredondado a bem arredondados de microclínio e oligoclásio com dimensões máximas da ordem de 0,2 mm.
- Acessórios: correspondem a raros cristais de mica, provavelmente muscovita, com forma lamelar de até 0,3 mm.

Imperial Blue - IB (dumortierita-muscovita quartzito com cianita)

Rocha com aspecto estético exótico em função da cor azul esbranquiçada predominante, e que localmente apresenta matizes mais escuros, ao longo de veios parcial ou totalmente discordantes com o bandamento textural disposto paralelamente ao acamamento sedimentar. Corresponde a dumortierita-muscovita quartzito com cianita, cuja foliação que se dispõe em alto ângulo com o bandamento textural é perfeitamente nítida ao microscópio dado a isorientação das lamelas de muscovita, cianita e cristais prismáticos a fibrosos de dumortierita. A estrutura preserva o acamamento sedimentar, com estratos de granulação variada intercalados, cujos grãos mantêm as feições sedimentares. Os estratos de granulação mais grossa apresentam cristais fraturados, com extinção ondulante forte a fraca, e os estratos mais finos estão totalmente recristalizados apresentando textura em mosaico.

A textura granoblástica a granolepidonematoblástica inequigranular varia de fina a média-fina apresentando bom engrenamento mineral devido às relações de contato entre cristais com dimensões variadas, maiores e menores, onde os primeiros apresentam contatos côncavo-convexos a lobulados e os últimos contatos poligonizados. O microfissuramento é baixo, intragranular e com planos raramente comunicantes. A alteração é incipiente.

A amostra é proveniente de Macaúbas (BA) e ocorrências similares são encontradas nas cidades de Boquira e Oliveira dos Brejinhos, também na Bahia. A composição modal determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, na Tabela 6.2.

Descrição Mineralógica:

- Quartzo: constituem cristais anedrais a subedrais, inequigranulares, que definem estratos intercalados entre si, ora de granulação mais grosseira ora mais fina. Os cristais maiores apresentam formas arredondadas e dimensões máximas de 1,5 mm, com microfissuras intragranulares e discreta a forte extinção ondulante. Os cristais menores estão completamente recristalizados, apresentando contatos poligonizados bem definidos, não ultrapassam as dimensões entre 0,1 e 0,5 mm, e raramente estão microfissurados. Grãos com inclusões de rutilo são bastante comuns.
- Muscovita: representada por lamelas de bordas irregulares e formas variadas que podem ocorrer entre os contatos dos grãos de quartzo ou envolvendo parte considerável desses cristais. De maneira geral define a foliação juntamente com os cristais de dumortierita, ao qual está intimamente associada. As dimensões são bastante variadas, desde agregados microgranulados a inferiores a 0,01mm até lamelas estiradas com cerca de 0,5mm de comprimento. Raramente exibem recristalização muito fina (sericitização).
- Dumortierita: responsável pela cor azulada da rocha, esse mineral ocorre como cristais prismáticos isolados com dimensões máximas de 0,4 mm dispersos pela rocha ou agregados fibrosos, dispostos total ou parcialmente concordante com a foliação, mostrando nítida associação com a muscovita.
- Cianita: ocorre mais freqüentemente como cristais corroídos, com textura poiquilítica com dimensões máximas de até 1,5 mm. Cristais mais preservados são mais raros e normalmente não ultrapassam 0,3mm.
- Acessórios: raros cristais de titanita com formas subedrais e dimensões máximas de até 0,1 mm dispersos pela rocha.
- Secundários: raras aparições de sericita oriundas da alteração de muscovita.

Quartzito Ouro Preto – QOP (muscovita-cianita quartzito)

Rocha proveniente de município homônimo, fortemente foliada, de granulação fina a muito fina e coloração bege acastanhada com tons variados e por vezes com manchas avermelhadas e/ou amareladas disformes e irregularmente distribuídas nos planos de foliação. O aspecto estético é bastante semelhante ao Quartzito São Tomé quando em estado bruto e quando polida assemelha-se a mármores acinzentados/esbranquiçados em função da

granulação fina. Minúsculas paletas de mica conferem um aspecto discretamente cintilante ao material quando exposto ao sol.

A textura granoblástica é discretamente inequigranular, variando de média-fina a muito fina, com predomínio dos termos finos. Os contatos minerais planos predominam ligeiramente e juntamente com os tipos côncavo-convexos e lobulados definem um bom imbricamento mineral. O microfissuramento é baixo a incipiente, definido por planos intragrão, por vezes comunicantes. Localmente apresentam óxidos/hidróxidos de ferro percolando os contatos minerais, e preferencialmente os planos de foliação, resultando nas manchas avermelhadas e amareladas. A Tabela 6.2 mostra a composição modal dessa rocha.

Descrição Mineralógica:

- Quartzo: está representado por cristais inequigranulares com dimensões variando de média-fina a fina, raramente média. Mostram forte deformação, com estiramento mineral, extinção ondulante e microfissuras. Os contatos mais comuns são os planos, côncavo-convexos e lobulados, sendo os tipos serrilhados mais raros. A recristalização é intensa definindo cristais estirados com bordas regulares por vezes formando polígonos alongados. É comum a ocorrência de feições como extinção ondulante, limites de subgrão e subgrãos. Grãos com diminutas inclusões de rutilo podem ocorrer.
- Cianita: constitui grãos prismáticos a tabulares com dimensões entre 0,1 mm e 10,0 mm concordantes com a foliação. Por vezes apresentam extinção ondulante e *kink bands*.
- Muscovita: constitui lamelas estiradas com dimensões máximas de 0,6 mm de comprimento, bordas regulares e nitidamente alinhadas, definindo o plano de foliação.
- Acessórios: representados por zircão, turmalina e opacos disseminados pela rocha. O zircão ocorre como grãos translúcidos da ordem de 0,01mm e também como inclusões. A turmalina ocorre como cristais incolores discretamente amarelados, também com dimensões médias de 0,01mm, e os opacos, com formas arredondadas não ultrapassam 0,3 mm.
- Secundários: óxidos e hidróxidos de ferro na forma de películas que preenchem microfissuras e percolam contatos minerais

6.3 Rochas Feldspáticas

As rochas feldspáticas correspondem a quatro amostras cujos minerais félsicos são representados basicamente por feldspatos, sendo duas compostas essencialmente por feldspato potássico (sienitóides), uma contendo feldspato potássico e plagioclásio (monzonito) e outra por plagioclásio (gabróide) (Tabela 6.3). As primeiras referem-se aos sienitos MCF e MCD e as últimas são rochas de natureza intermediária (PP - monzonito) e básica (PA - gabronorito).

Tabela 6.3: Síntese de descrição petrográfica para as rochas feldspáticas analisadas.

Mineralogia (%)	MCF (Marrom Café Imperial)				MCD (Marrom Caldas)				PA (Preto Apiaí)				PP (Preto Piracaia)			
	xy	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**
Ortoclásio	78,9	74,7	75,9	76,5	67,5	66,2	63,7	65,8	--	--	--	--	--	--	--	--
Microclínio	--	--	--	--	--	--	--	--	TR	TR	TR	TR	30,3	28,5	27,3	28,7
Plagioclásio	--	--	--	--	1,9	1,5	2,0	1,8	60,0	61,5	61,5	61,0	35,7	34,1	35,2	35,0
Hiperstênio	--	--	--	--	--	--	--	--	12,2	9,7	10,5	10,8	--	--	--	--
Augita	--	--	--	--	--	--	--	--	20,4	19,4	20,2	20,0	--	--	--	--
Aegerina-augita	14,4	16,5	15,9	15,6	4,8	4,4	4,3	4,5	--	--	--	--	--	--	--	--
Diopsídio	--	--	--	--	8,6	7,9	8,2	8,3	--	--	--	--	--	--	--	--
Hornblenda	--	--	--	--	9,5	10,0	11,0	10,1	4,2	5,2	4,4	4,6	3,8	4,0	4,1	3,9
Epídoto	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,7	1,9	1,8	1,8
Apatita	1,9	2,7	2,8	2,5	1,1	1,6	1,8	1,5	TR	TR	TR	TR	1,2	0,9	1,0	1,0
Biotita	2,3	1,8	1,7	1,9	0,2	0,2	0,5	0,3	TR	TR	TR	TR	22,4	24,2	23,8	23,5
Quartzo	--	--	--	--	2,6	3,1	3,3	3,0	TR	TR	TR	TR	1,3	1,8	1,9	1,7
Titanita	1,0	1,6	1,7	1,5	0,9	1,7	1,5	1,4	--	--	--	--	2,7	2,9	3,1	2,9
Opacos	1,5	2,7	2,0	2,0	2,9	3,4	3,6	3,3	3,2	4,2	3,5	3,6	0,9	1,7	1,8	1,5
Acessórios *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Secundários *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	foliação de fluxo plástico planar evidente				foliação de fluxo pouco evidente, localmente convoluta				maciça/compacta				foliação discreta			
granulação média	inequigranular média a média-grossa				equigranular média				equigranular média-fina (subofítica)				inequigranular média-fina (variando de média a fina) microporfirítica			
contatos predominantes	planos e côncavo-convexos				côncavo-convexos, lobulados e planos em proporções semelhantes				plano e subordinadamente côncavo-convexos				côncavo-convexo (localmente plano ou serrilhado)			
microfissuras/mm^2	5,76	3,76	4,35	4,62	3,55	1,97	4,34	3,29	4,45	2,79	3,72	3,66	0,77	0,67	1,31	0,91
comprimento médio (µm)	466,3	406,6	287,2	386,7	399,1	496,4	443,6	446,4	419,4	447,0	473,9	446,7	181,6	190,0	225,3	198,8
coeficiente de variação)	0,81	0,72	0,62	0,73	0,67	0,69	0,59	0,65	0,67	0,65	0,93	0,75	0,50	0,48	0,54	0,51
área alterada (%)	18,74	11,44	24,44	18,21	28,69	21,70	18,50	22,96	3,62	5,68	4,47	4,59	6,39	5,94	5,99	6,10
CLASSIFICAÇÃO	**aegerina augita-ortoclásio sienito**				**aegerina augita-ortoclásio sienito com quartzo**				**gabronorito**				**monzonito**			

* para detalhes consultar as descrições.

Os sienitos são mineralogicamente bastante semelhantes, sendo que MCD apresenta menos feldspato potássico e piroxênio, mais anfibólios e algum quartzo. A característica distintiva entre eles é a presença da foliação de fluxo plástico planar na rocha MCF, com granulação ligeiramente mais grossa que a amostra MCD, com foliação de fluxo convoluta (Figura 6.5). A alteração mineral afeta cerca de 20% da rocha e se desenvolve com a argilização/sericitização do ortoclásio, especialmente nos planos de fraturas e clivagens.

As rochas PA e PP diferem em sua composição mineral, pelos teores de minerais essenciais e também pela presença de piroxênios e anfibólios na primeira e de anfibólio e biotita na segunda. A rocha PP apresenta foliação discreta (mais evidente ao microscópio), granulação heterogênea, e bom imbricamento mineral dado pelos contatos côncavo-convexos, enquanto PA é compacta com granulação mais homogênea (apesar de também inequigranular) e típica textura subofítica. A alteração mineral é fraca e está abaixo de 6%.

Marrom Café Imperial - MCF (aegerina augita-ortoclásio sienito)

Corresponde a um egerina augita-ortoclásio sienito proveniente do Município de Caldas (MG), com nítida estrutura fluidal plástica, definida pela justaposição de cristais tabulares alongados de feldspato potássico. Essa peculiaridade permite melhor aproveitamento comercial da rocha, visto que pode-se obter aspectos estéticos distintos, em função da posição de corte paralela ou normal à foliação da rocha.

A textura é fanerítica hipidiomórfica a localmente panidiomórfica, com granulação média a média-grossa (5 a 10 mm), com grande incidência de grãos finos e muito finos. A massa predominante é de feldspato potássico de cor marrom escuro a acinzentado de onde se destacam prismas alongados de piroxênio com cor verde escura em posição intersticial entre os cristais de feldspato. A biotita e a apatita, com coloração verde clara, ocorrem com certa freqüência. Os tipos de contatos minerais mais notáveis são os planos e côncavo-convexos, sendo a maior ou menor predominância de ambos determinada pela posição do plano de corte observado, refletindo a justaposição de cristais tabulares de feldspato potássico.

A rocha é fortemente microfissurada prevalecendo planos intragranulares preferencialmente orientados em sentido perpendicular ao maior alongamento dos cristais tabulares de feldspato potássico. Planos preenchidos por agregados de sericita, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro são muito comuns.

A alteração mineral é forte a moderada, correspondendo a argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro disseminados pelos cristais ou preferencialmente concentrados nas porções centrais ou planas de fraturas e clivagens do feldspato. A composição modal, determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.3.

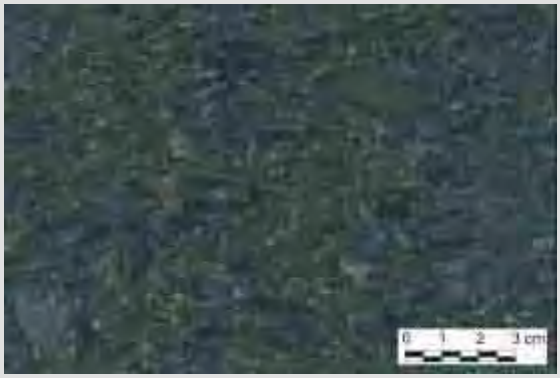
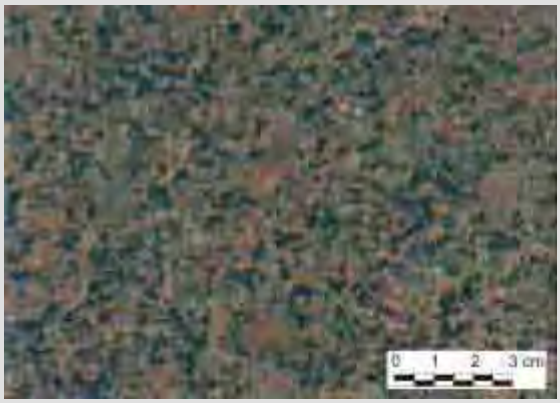
	ASPECTO MACROSCÓPICO	ASPECTO MICROSCÓPICO
Marrom Café Imperial		
Marrom Caldas		
Preto Apiaí		
Preto Piracaia		

Figura 6.5: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Marrom Café Imperial (MCF), Marrom Caldas (MCD), Preto Apiaí (PA) e Preto Piracaia (PP).

Descrição Mineralógica:

- Ortoclásio: cristais retangulares a ripiformes com comprimentos de 4 mm a 15 mm, larguras de 3 mm a 10 mm e espessuras de 0,5 mm a 3 mm. As bordas são irregulares com predomínio de contatos planos, côncavo-convexos a lobulados, e minoritariamente irregulares/serrilhados, podendo ocorrer concentrações de grãos poligonizados menores. A textura pertítica com formas de fios e filmes está sempre presente, principalmente nas partes centrais. O microfissuramento é definido por feixes de fraturas paralelos entre si, dispostos perpendicularmente ao comprimento do mineral, e bastante intenso em alguns cristais. Inclusões fluídas, de piroxênios e rutilo isorientados além de biotita e opacos são comuns. A microestrutura mais comum é a extinção ondulante que varia de moderada a fraca. Exibe aspecto turvo nas partes centrais dos cristais e nas imediações dos planos de clivagem e fraturas, devido às disseminações pulverulentas de coloração marrom constituídas por argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro que compõem os produtos de alteração.
- Piroxênios: cristais prismáticos de aegerina-augita com dimensões de 0,5 mm a 6,0 mm predominando dimensões entre 1,0 mm e 2,0 mm. Predominam contatos retilíneos e subordinadamente côncavo-convexos. Intensamente microfissurados, com planos comunicantes por vezes preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro. A alteração é ausente a incipiente com formação de algumas palhetas de biotita nos planos de clivagem.
- Apatita: cristais subédricos, bastante fraturados, com dimensões de 0,5 mm a 5,0 mm, podendo inclusive ser reconhecida macroscopicamente através do seu hábito prismático e coloração verde clara em meio aos demais minerais.
- Biotita: raramente presente, sob a forma de lamelas subedrais com pleocroísmo marrom escuro a marrom acastanhado e dimensões entre 0,2 mm e 1,0 mm. Inclusões submilimétricas de zircão, apatita, e piroxênio são comuns. Raramente encontra-se alterada.
- Titanita: aparece com dimensões médias de 0,5 mm como cristais losangulares, normalmente quebrados, ou anedrais.
- Opacos (óxidos): sempre associados aos demais minerais máficos, apresentando forma irregular a raramente euédricos, e freqüentemente envolvidos por uma fina capa de titanita.
- Secundários: correspondem aos argilominerais e sericita, produtos de alteração dos feldspatos; a biotita como alteração dos piroxênios; e, óxidos e hidróxidos de ferro como alteração dos piroxênios e opacos.

Marrom Caldas – MCD (aegerina-augita ortoclásio sienito com quartzo)

O Marrom Caldas é lavrado no município homônimo e corresponde a aegerina-augita ortoclásio sienito com quartzo de coloração marrom clara com pontuações escuras e estrutura de fluxo plástico definida pela discreta orientação preferencial de cristais tabulares de

feldspato potássico. No mercado pode ser encontrada com aspectos estéticos diferentes em função do corte perpendicular ou paralelo à foliação.

A textura é fanerítica, discretamente inequigranular, de granulação média, embora varie de muito fina a média-grossa (0,3 mm a 10 mm). Os cristais apresentam contatos côncavo-convexos, lobulados e planos em proporções mais ou menos semelhantes, sendo o tipo serrilhado/irregular subordinado.

O microfissuramento é moderado a fraco, essencialmente intragrão com planos preenchidos por sericita e carbonatos, dispostos em feixes paralelos orientados perpendicularmente ao comprimento do mineral. A comunicação entre planos é baixa embora alguns cristais mostrem fraturas menores dispostas ortogonalmente ligando os planos maiores.

A alteração dos feldspatos se apresenta com diferentes graus de intensidade e heterogeneamente distribuída, sendo mais proeminente quando associada às microfissuras, especialmente no sistema ortogonal ao comprimento do cristal. A composição modal, determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.3.

Descrição Mineralógica:

- Ortoclásio: os cristais com dimensões predominantemente entre 0,6 mm e 4,5 mm, apresentam formas euedrais a subedrais, tabulares e alongados segundo a direção de fluxo plástico. Cristais geminados segundo a Lei de Carlsbad são comuns e, via de regra, apresentam textura pertítica (filmes e filetes) e uma grande quantidade de acículas de rutilo, grãos arredondados de apatita e inclusões de zircão. Os grãos estão afetados por forte sericitização e/ou caulinização, com diferentes graus de intensidade e melhor desenvolvido nas proximidades dos planos de fraturas, nas bordas dos cristais e nas pertitas. Normalmente os planos são intragrãos, sendo que o fraturamento ocorre preferencialmente orientado perpendicularmente ao comprimento dos cristais. Freqüentemente ocorrem cristais com as bordas intensamente fraturadas. Cristais com extinção ondulante são comuns. Os contatos mais comuns são côncavo-convexos, serrilhado e plano.
- Diopsídio: ocorrem como grãos anedrais a subedrais com clivagem bem desenvolvida, com dimensões oscilando entre 0,3 mm e 2,0 mm. Associa-se freqüentemente à hornblenda e aos opacos, podendo apresentar substituições parciais por biotita.
- Hornblenda: cristais com formas irregulares e dimensões entre 0,6 mm e 2,0 mm, intimamente associados aos demais minerais máficos da rocha, e freqüentemente com inclusões de minerais opacos e titanita. Também substitui o diopsídio com relativa freqüência.
- Aegerina-augita: ocorre como cristais anedrais, com dimensões de 0,5 mm a 1,5 mm e coloração verde. Mostra-se bastante fraturado e com grau de alteração forte, evidenciado pela liberação de óxidos/hidróxidos de ferro sobretudo nos planos de fratura. Substituições por hornblenda e diopsídio são relativamente comuns.

- Biotita: está representada por lamelas com bordas lisas e regulares, cujo tamanho oscila entre 0,1 mm e 0,8 mm. Apresenta fraca alteração evidenciada por efeitos de cloritização nas bordas dos cristais. Inclusões de zircão são comuns e proporcionam halos pleocróicos. Ocorre associada aos piroxênios e anfibólios.
- Oligoclásio: acessório com dimensão menor que 0,2 mm, ocupando posição intersticial.
- Opacos (magnetita ?): apresentam formas anedrais a subedrais com tamanhos entre 1,0 mm e 0,01 mm. Está associado aos minerais máficos ou ainda como grãos isolados entre os cristais de ortoclásio. Quando alterado libera hidróxidos de ferro e quando em contato com os piroxênios pode apresentar uma borda de reação, representada por um envoltório de titanita.
- Titanita: cristais mais ou menos fraturados, sempre associados aos anfibólios e piroxênios.
- Acessórios: apatita, zircão e rutilo, todos ocorrem como inclusões nos cristais de ortoclásio, exceto o zircão que está incluso na biotita. Há também cristais anedrais de quartzo da ordem de 0,6 mm a 0,3 mm.
- Secundários: correspondem aos produtos de alteração dos feldspatos (sericita e argilominerais) e aos óxidos e hidróxidos de ferro liberados dos opacos e da aegerina-augita.

Preto Apiaí – PA (Gabronorito)

Rocha de cor cinza escuro, equigranular média-fina, estrutura isotrópica, definindo tipo estético bem aceito internacionalmente (Europa e Japão) e para uso em arte funerária.

Os contatos minerais predominantes são do tipo plano e subordinadamente côncavo-convexos, formados por textura intergranular a subofítica. O microfissuramento é bastante heterogêneo quanto à intensidade, mas é moderado a fraco, caracterizado por planos intragrãos sem comunicação, por vezes preenchido por minerais secundários. A alteração mineral é fraca a incipiente e disseminada pela rocha. A composição modal, determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.3.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (Andesina + Labradorita): cristais subedrais ripiformes a anedrais com dimensões entre 0,5 mm e 2,0 mm e contatos planos. Exibe extinção ondulante fraca e o microfissuramento no geral é baixo a moderado do tipo intragrão, podendo haver cristais sem nenhum fraturamento e outros intensamente afetados. Nesses os planos são paralelos entre si e perpendiculares à maior elongação mineral. Algumas microfissuras são preenchidas por sericita. A alteração é ausente a incipiente, ocorrendo disseminada pelos cristais.
- Augita: corresponde a cristais anedrais com dimensões entre 0,2 mm e 3,0 mm com bordas irregulares que tendem formar contatos côncavo-convexos a planos, resultando em

bom engrenamento mineral. O microfissuramento é intenso, do tipo intragrão e comunicante. Associa-se ao hiperstênio e opacos, ocorrendo alteração para biotita e hornblenda.

- Hiperstênio: cristais com formas irregulares, com contatos planos a côncavo-convexos e tamanhos inferiores a 2,0 mm, intensamente fraturados. Associa-se a augita e opacos.
- Hornblenda: corresponde a cristais de formato retangular com bordas irregulares, com dimensões da ordem de 0,5 mm, proveniente da alteração dos piroxênios.
- Opacos: grãos arredondados a alongados com bordas planas ou irregulares e dimensões máximas ao redor de 0,6 mm. Estão associados ou inclusos na augita, freqüentemente em contato com a biotita. Localmente podem estar oxidados.
- Acessórios: correspondem a cristais de apatita como inclusões, e disseminados de feldspato alcalino e quartzo (raro) em posições intersticiais.
- Secundários: a biotita e a clorita são oriundas da alteração dos piroxênios e os óxidos e hidróxidos de ferro provenientes dos opacos. Os plagioclásios estão pouco alterados e pontualmente produzem mínimas quantidades de sericita.

Preto Piracaia – PP (monzonito)

Esta rocha, proveniente do município paulista Piracaia, é um tipo clássico no mercado nacional e têm conquistado espaço no mercado internacional por apresentar cor cinza escura e aspecto estético homogêneo, definido pela estrutura discretamente foliada e textura inequigranular média a fina (predominando os termos médio-finos) com caráter microporfirítico dado por ripas isorientadas de plagioclásio de cor esbranquiçada.

Composicionalmente corresponde a um monzonito, que observado ao microscópio denota uma foliação com certo padrão amendoado, com planos espaçados e bem marcados devido à presença de material escuro pulverulento, resultado da fragmentação de minerais máficos. Observam-se também cristais de plagioclásio e microclínio rotacionados e também com bordas irregulares, definindo planos de cisalhamento rúptil-dúctil. Cristais com extinção ondulante são comuns, e o microfissuramento é baixo caracterizado por planos intragrãos pouco desenvolvidos, sem comunicação e por vezes preenchidos.

Quanto ao imbricamento mineral, apresenta praticamente apenas contatos do tipo côncavo-convexo, exceto para cristais de titanita, apatita e algumas lamelas de biotita, que apresentam tipo plano, e alguns cristais de minerais opacos com contatos serrilhados.

A alteração é incipiente a ausente, afetando alguns cristais de plagioclásio em porções restritas, e cristais isolados de titanita, opacos e biotita. A composição modal, determinada segundo os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.3.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (andesina): cristais anedrais a subedrais, com dimensões média-fina a média localmente atingindo média-grossa, definindo a textura microporfirítica. Exibe extinção ondulante e bordas microgranuladas com freqüência. A geminação polissintética é comum, às vezes conjugada com a Carlsbad. A alteração (saussuritização) é incipiente, em manchas dispersas tanto no centro como nas bordas. Os cristais com as maiores dimensões normalmente apresentam seus núcleos moderadamente alterados em sericita e algum carbonato preferencialmente concentrado ao longo de planos de geminação. Inclusões de opacos e de biotita são comuns. O microfissuramento é baixo e planos preenchidos por biotita e minerais secundários são comuns.
- Microclínio: exibe discreta geminação em grade e pertitas dos tipos filmes e filetes bem desenvolvidos. São cristais anedrais em posições intersticiais ou grãos isolados. O microfissuramento é baixo, embora os cristais maiores mostrem-se intensamente fraturados. A alteração, quando presente, é incipiente e corresponde a fina massa filossilicática e, por vezes, parcialmente argilomineralizado. É também freqüente a presença de microgranulação acompanhada por recristalização parcial.
- Quartzo: ocorre raramente, em posições intersticiais com microgranulação acompanhada de recristalização parcial e extinção ondulante.
- Biotita: em lamelas e palhetas submilimétricas com formas variadas, bordas irregulares e de aspecto corroído, dispostas segundo uma orientação preferencial que define a foliação da rocha. Exibe pleocroísmo castanho-esverdeado e está intimamente associada à hornblenda, opacos e titanita. A alteração é incipiente e corresponde a uma discreta cloritização das bordas. Mostram-se freqüentemente deformadas e, por vezes, com extinção ondulante.
- Hornblenda: cristais anedrais a subedrais de dimensões médias, associados à biotita, titanita e opacos. O microfraturamento é forte e com alta comunicabilidade, ao passo que a alteração é incipiente (cloritização das bordas) a ausente na maior parte dos cristais. O tipo predominante apresenta pleocroísmo verde amarelado a verde oliva, ocorrendo também a variedade com pleocroísmo verde azulado, atribuída à presença da hastingsita.
- Titanita: cristais euedrais losangulares bem desenvolvidos (até 3,0 mm), orientados segundo a foliação e por vezes fraturados e deformados.
- Apatita: são cristais euedrais prismáticos ou aciculares, disseminados e localmente concordantes com a foliação.
- Opacos: cristais milimétricos quadrados ou irregulares, disseminados pela rocha.
- Secundários: compreende os produtos de alteração do plagioclásio (sericita, epídoto e carbonatos) e a clorita proveniente da alteração da biotita e hornblenda. O epídoto está intensamente fragmentado, disperso pela rocha, e freqüentemente associado a uma massa pulverulenta constituída por filossilicatos e argilominerais

6.3 Rochas Quartzo-Feldspáticas

O grupo das rochas quartzo-feldspáticas (Tabelas 6.4A, B e C) compõe a maior parte das amostras estudadas e está representado por doze rochas com diferentes composições, texturas e estruturas. No que se refere à composição mineralógica são tipicamente graníticas, sendo que as rochas PSG, VCM, VCD, VM e VV são charnockíticas. A mineralogia acessória é majoritariamente definida pela biotita que varia entre 1% (VCB) e 20% (AF), sendo praticamente ausente na amostra KA. Foram observados anfibólios apenas nas amostras AZS (~8%) e PSG (~2%) e piroxênios nas amostras PSG (~5%), VCD (~4,5%), VM (~3,5%) e VV (~5%). Os minerais opacos são sempre inferiores a 1%, exceto para a rocha PSG, com 4% em média. A granada ocorre apenas nos tipos KA e VV, perfazendo cerca de 6% do volume.

As estruturas nesse grupo de rochas variam de compacta (VCB na Figura 6.8) a fortemente foliada (AZS na Figura 6.6). Os migmatitos JR (Figura 6.6), VCM, VCD (Figura 6.7) e VM (Figura 6.8) exibem estrutura nebulítica variando para dobrada. Os tipos KA (Figura 6.6), RI e PSG (Figura 6.7) apresentam foliação bastante discreta, dificilmente perceptível em amostras de mão. As rochas AF (Figura 6.6) e VV (Figura 6.8) exibem foliação anastomosada, sendo a primeira de caráter protomilonítico.

No conjunto há quatro rochas porfiríticas (AF e AZS - Figura 6.6; VV e VB - Figura - 6.8) com fenocristais em densidades, dimensões, distribuições e orientações variadas. Os maiores fenocristais, com cerca de 7,0 cm de comprimento, são das rochas AF e VV, cuja isorientação é média se comparada a AZS (mais marcante) e VB (sem orientação). O maior teor de fenocristais atinge cerca de 20% e é observado nas amostras AF e VV. As outras duas amostras apresentam teores da ordem de 15%. No que se refere à granulação da matriz que envolve esses megacristais, partindo-se da mais fina para a mais grossa, tem-se a seqüência AZS, VB, VV e AF (detalhes nas Tabelas 6.4 A e 6.4 C).

As demais rochas são inequigranulares, predominantemente com granulação média a fina, e os contatos minerais mais comuns são os côncavo-convexos e lobulados.

O grau de alteração mineral é variado, e sobretudo corresponde à transformação dos feldspatos para argilominerais e/ou sericita e/ou epídoto. As rochas menos afetadas (<5%) são PSG, VCM, VM e VV, e as mais afetadas são as AZS, RI, VB, VCB (>15%). Deve-se mencionar que as rochas JR, RI, VB e VCB foram coletadas de matacões.

Tabela 6.4A: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas analisadas.

Mineralogia (%)	AF (Azul Fantástico) [1]				AZS (Azul Sucuru) [2]				JR (Jacarandá Rosado)				KA (Kashimir)			
	xy	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**
Feldspato Potássico	22,8	21,5	19,5	21,3	42,7	37,9	40,9	40,5	40,2	38,7	36,5	38,5	41,8	43,8	42,3	42,6
Plagioclásio	28,3	29,2	27,2	28,2	8,1	12,2	10,1	10,1	20,8	21,5	23,6	22,0	23,6	21,5	22,4	22,5
Quartzo	29,8	29,3	28,1	29,1	32,5	32,2	29,4	31,4	29,0	31,6	31,2	30,5	28,0	29,1	30,7	29,3
Biotita	17,7	18,5	23,4	19,9	9,2	8,5	8,1	8,6	9,5	7,9	8,4	8,6	--	--	--	--
Anfibólios	--	--	--	--	6,5	7,8	10,0	8,1	--	--	--	--	--	--	--	--
Granada	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	6,5	5,4	4,4	5,5
Opacos	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	0,3	0,3	0,4	TR	TR	TR	TR
Titanita	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5	TR	TR	TR	TR	--	--	--	--
Apatita	0,4	0,2	0,4	0,3	--	--	--	--	TR	TR	TR	TR	--	--	--	--
Muscovita	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,1	0,2	0,2	0,2
Acessórios *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	--	--	--	--
Secundários *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	foliação anastomosada				fortemente foliada (penetrativa)				nebulítica, localmente dobrada ou flebítica				discretamente foliada			
granulação média	porfirítica com matriz média a grossa				porfirítica com matriz fina				inequigranular média				inequigranular média a fina			
contatos predominantes	côncavo-convexos e lobulados (matriz) e côncavo-convexos, lobulados a interlobados e serrilhados (fenocristais)				côncavo-convexos, lobulados, serrilhados e planos em proporções equivalentes				côncavo-convexos e lobulados, tendendo a planos e localmente serrilhado				côncavo-convexos a lobulados			
microfissuras/mm^2	1,12	0,98	1,25	1,11	1,45	1,36	1,88	1,56	2,02	1,94	2,41	2,12	2,47	2,06	2,31	2,28
comprimento médio (µm)	579,1	638,2	519,9	579,1	450,2	420,5	418,5	429,7	573,1	646,7	431,5	550,5	529,6	572,7	675,2	592,5
coeficiente de variação	0,83	0,65	0,75	0,74	1,22	1,05	0,74	1,01	0,59	0,60	0,50	0,56	0,62	0,52	0,77	0,64
área alterada (%)	8,15	14,95	12,77	11,95	22,86	14,93	11,54	16,44	9,07	9,59	13,08	10,63	9,66	9,00	6,49	8,38
CLASSIFICAÇÃO	**biotita monzogranito megaporfirítico gnaissificado**				**microsienogranito porfirítico**				**migmatito sienogranítico**				**granada gnaisse sienogranítico**			

* para detalhes consultar as descrições no texto

[1] 20 % de fenocristais

[2] 15 % de fenocristais

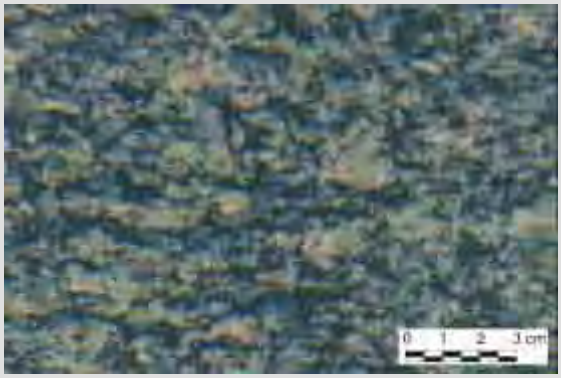
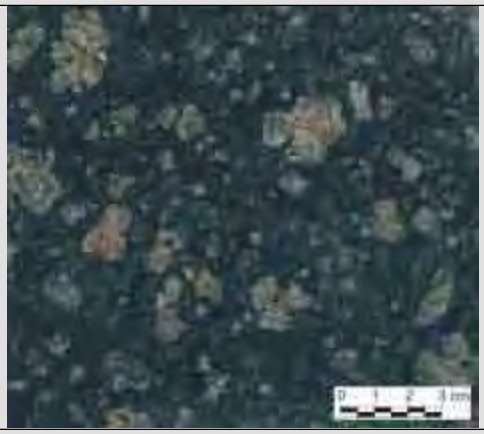
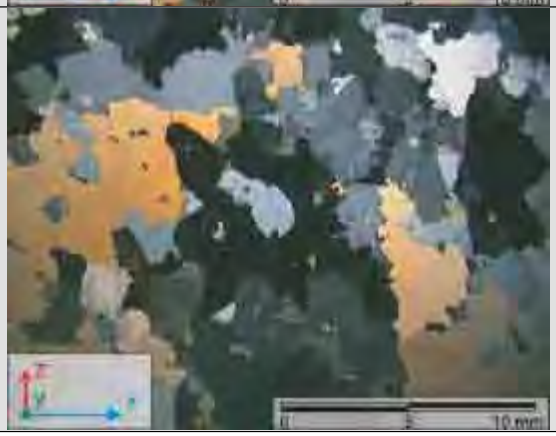
	ASPECTO MACROSCÓPICO	ASPECTO MICROSCÓPICO
Azul Fantástico		
Azul Sucuru		
Jacarandá Rosado		
Kashimir		

Figura 6.6: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas Azul Fantástico (AF), Azul Sucuru (AZS), Jacarandá Rosado (JR) e Kashimir (KA).

Tabela 6.4B: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas analisadas (*continuação*).

Mineralogia (%)	PSG (Preto São Gabriel)				RI (Rosa Itupeva)				VCM (Verde Camacho)				VCD (Verde Candeias)			
	xy	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**
Feldspato Potássico	3,0	2,1	3,5	2,9	37,7	40,5	41,2	39,8	42,5	39,5	43,6	41,9	3,1	3,5	2,9	3,2
Plagioclásio	52,1	54,5	43,2	49,9	23,6	21,0	22,2	22,3	25,2	27,6	26,5	26,4	53,8	52,9	54,8	53,8
Quartzo	20,5	20,2	22,1	20,9	31,3	30,1	28,1	29,8	28,6	28,4	25,2	27,4	36,6	37,1	35,5	36,4
Biotita	11,9	10,2	13,9	12,0	7,2	8,3	8,4	8,0	1,4	1,6	1,5	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4
Hornblenda	2,2	1,3	2,7	2,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Piroxênios	4,3	4,3	5,7	4,8	--	--	--	--	--	--	--	--	4,7	4,3	4,6	4,6
Pseudomorfos	1,5	1,9	3,9	2,4	--	--	--	--	2,3	2,9	3,2	2,8	--	--	--	--
Opacos	3,3	4,5	4,1	4,0	0,2	0,1	0,1	0,1	TR	TR	TR	TR	0,2	0,4	0,4	0,3
Titanita	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	0,1	0,1	0,1	0,1
Apatita	1,2	1,0	0,9	1,0	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	0,2	0,3	0,2	0,2
Muscovita	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Acessórios *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Secundários *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	isotrópica a discretamente foliada				discretamente foliada				nebulítica a discretamente foliada				nebulítica a dobrada			
granulação média	inequigranular média-fina a média				equi- a inequigranular média-grossa a média-fina				inequigranular média-grossa a fina				inequigranular média localmente grossa			
contatos predominantes	planos e côncavo-convexos a lobulados				varia entre côncavo-convexos a serrilhados (porções quartzosas) e planos (porções feldspáticas)				lobulados e côncavo-convexos				côncavo-convexos e lobulados, tendendo a planos			
microfissuras/mm^2	2,79	2,10	2,69	2,53	0,76	0,47	1,00	0,74	1,67	1,59	1,92	1,73	2,89	2,12	2,23	2,42
comprimento médio (µm)	368,2	363,6	434,1	388,6	577,9	700,9	675,1	651,3	535,4	483,9	502,9	507,4	557,7	556,2	661,1	591,7
coeficiente de variação	0,53	0,62	0,57	0,57	0,72	0,83	0,86	0,81	0,60	0,63	0,44	0,56	0,77	0,62	0,73	0,71
área alterada (%)	1,67	2,81	1,12	1,87	22,59	18,49	24,50	21,86	4,59	3,79	2,17	3,52	10,26	10,68	13,70	11,54
CLASSIFICAÇÃO	**enderbito**				**sienogranito**				**migmatito charnockítico nebulítico**				**migmatito enderbítico nebulítico**			

* para detalhes consultar as descrições no texto

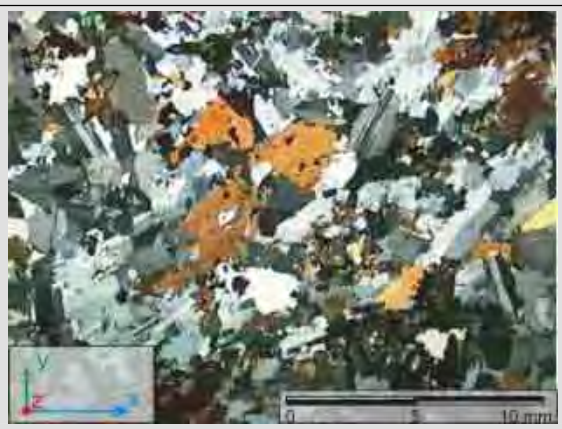
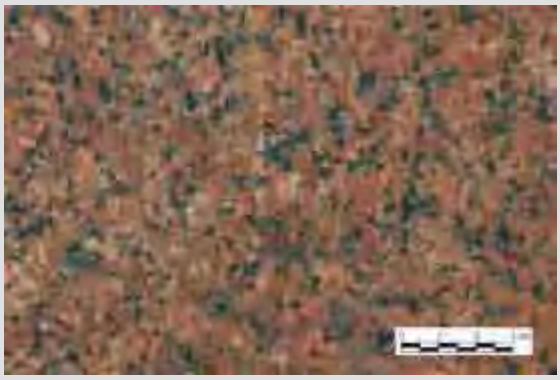
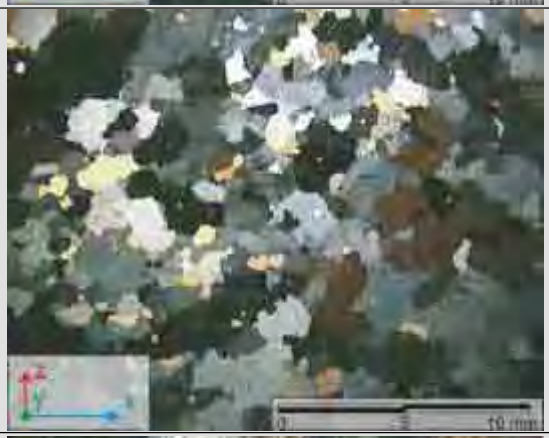
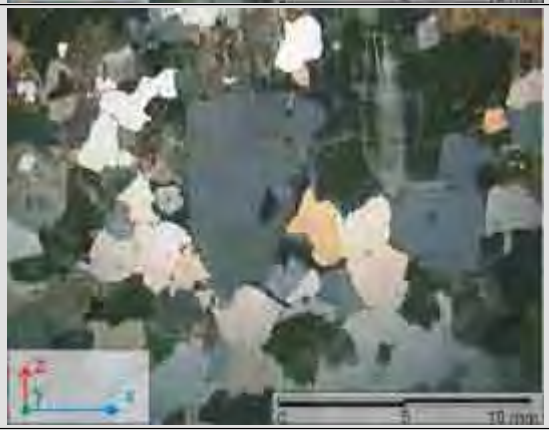
	ASPECTO MACROSCÓPICO	ASPECTO MICROSCÓPICO
Preto São Gabriel		
Rosa Itupeva		
Verde Camacho		
Verde Candeias		

Figura 6.7: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas das rochas Preto São Gabriel (PSG), Rosa Itupeva (RI), Verde Camacho (VCM) e Verde Candeias (VCD).

Tabela 6.4C: Síntese de descrição petrográfica para as rochas quartzo-feldspáticas analisadas (*continuação*).

Mineralogia (%)	VM (Verde Maritaca)				VV (Verde Veneciano) [1]				VB (Vermelho Bragança) [2]				VCB (Vermelho Capão Bonito)			
	xy	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**	**xy**	**yz**	**xz**	**média**
Feldspato Potássico	35,8	27,5	40,2	34,5	14,1	13,0	12,1	13,1	40,2	38,1	38,2	38,8	43,8	45,8	44,7	44,8
Plagioclásio	26,6	35,5	22,5	28,2	34,8	34,0	33,5	34,1	28,0	27,5	28,5	28,0	20,5	21,4	22,0	21,3
Quartzo	31,9	27,5	32,3	30,6	33,5	35,7	36,7	35,3	26,8	28,5	27,5	27,6	26,0	24,2	26,8	25,7
Biotita	2,5	5,5	1,5	3,2	5,2	4,8	5,1	5,0	4,8	5,5	5,5	5,3	9,7	8,6	6,5	8,3
Piroxênios	3,2	4,0	3,5	3,6	5,2	4,8	5,1	5,0	--	--	--	--	--	--	--	--
Pseudomorfos	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Granada	--	--	--	--	6,8	7,2	7,0	7,0	--	--	--	--	--	--	--	--
Opacos	TR	TR	TR	TR	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Titanita	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	0,1	0,2	0,1	0,1	TR	TR	TR	TR
Apatita	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Muscovita	--	--	--	--	TR	TR	TR	TR	--	--	--	--	--	--	--	--
Acessórios *	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Secundários *	TR	TR	TR	TR	1,6	1,4	1,4	1,5	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
estrutura	nebulítica; isotrópica a foliada				foliação evidente, localmente anastomosada				isotrópica a fracamente orientada				isotrópica; compacta			
granulação média	inequigranular média a média-fina				porfirítica média a média-grossa				porfirítica com matriz fina a média				inequigranular média a média-fina			
contatos predominantes	côncavo-convexos tendendo a planos, e localmente lobulados				côncavo-convexos tendendo a planos, e localmente lobulados				côncavo-convexos e serrilhados				côncavo-convexos, lobulados e serrilhados			
microfissuras/mm^2	3,44	3,03	3,21	3,23	2,94	1,94	1,96	2,28	5,52	4,81	4,70	5,01	4,84	2,48	3,72	3,68
comprimento médio (µm)	434,2	568,1	462,8	488,4	699,5	778,6	752,0	743,4	342,2	332,0	299,6	324,8	627,3	498,2	565,8	563,8
coeficiente de variação	0,54	1,08	0,53	0,72	0,87	0,77	0,62	0,75	0,67	0,58	0,68	0,65	0,67	0,68	0,78	0,71
área alterada (%)	3,60	4,82	4,14	4,19	0,91	1,27	1,40	1,19	28,62	26,17	13,99	22,93	25,31	36,30	16,21	28,94
CLASSIFICAÇÃO	**migmatito charnockítico nebulítico**				**gnaisse charno-enderbítico com granada**				**monzogranito porfirítico**				**biotita sienogranito**			

* para detalhes consultar as descrições no texto

[1] 20% de fenocristais

[2] ~ 13 % de fenocristais

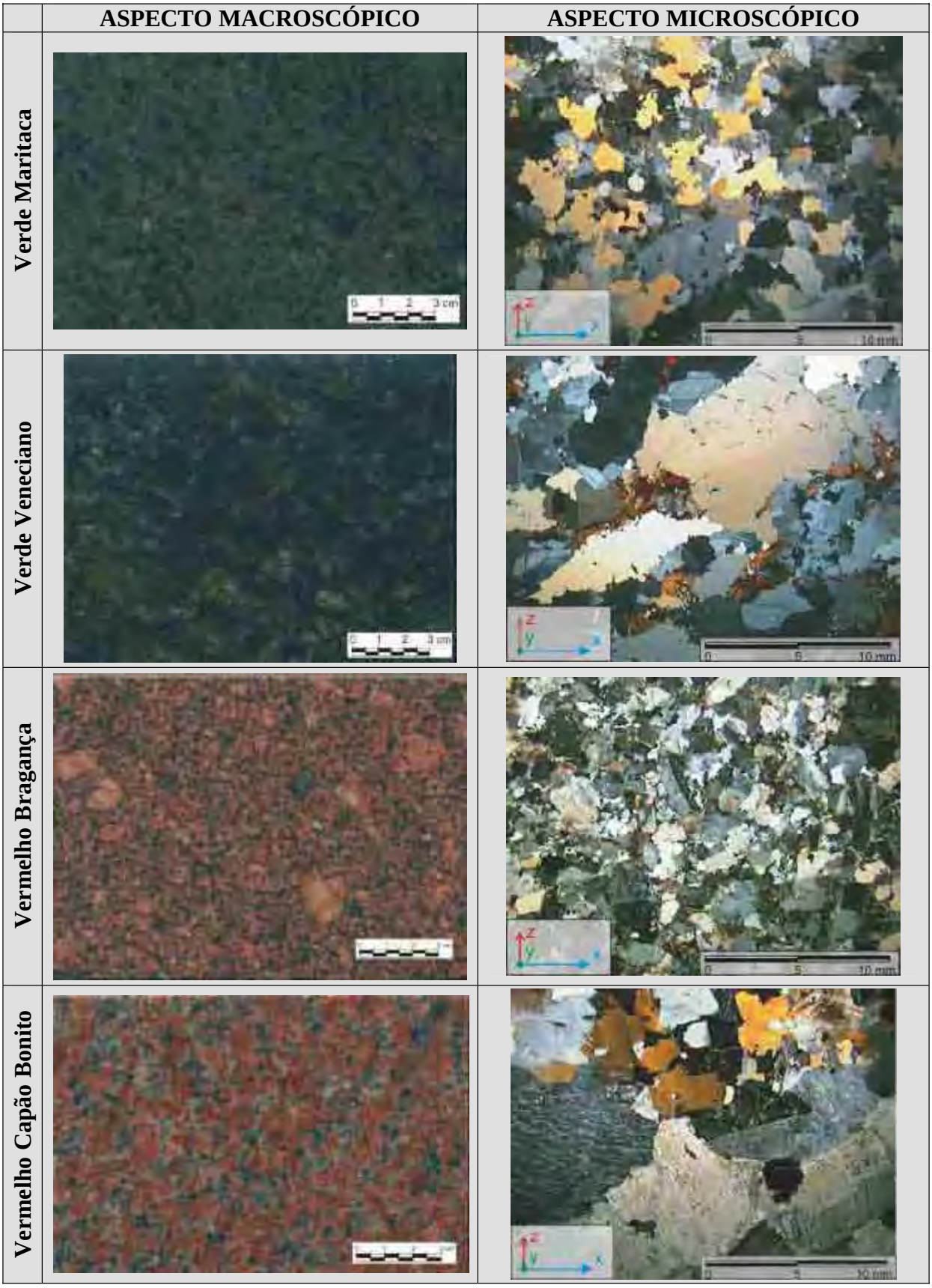


Figura 6.8: Aspectos macroscópico e microscópico com polarizadores cruzados das rochas das rochas Verde Maritaca (VM), Verde Veneciano (VV), Vermelho Bragança (VB) e Vermelho Capão Bonito (VCB).

Azul Fantástico – AF (biotita monzogranito megaporfirítico serial gnaissificado)

Rocha de aspecto estético exótico em função da presença de cristais azulados de quartzo, róseos a acastanhados de feldspatos e pontuações pretas de biotita, classificada petrograficamente como biotita monzogranito megaporfirítico serial gnaissificado. A foliação gnáissica é marcada pela maior ou menor isorientação dos megacristais de feldspato potássico e de lamelas de biotita, apresentando faixas e lentes mais deformadas que outras porções da rocha. Quando há presença intensa de veios feldspáticos métricos e espessuras milimétricas o material ganha a designação comercial de Azul Fantasia ou Azul Florido.

A textura é megaporfirítica serial com matriz inequigranular média a grossa, hipidiomórfica, com grãos de dimensões médias entre 2 mm e 8 mm, gradando até as dimensões dos fenocristais. Estes perfazem cerca de 20% do volume da rocha e exibem formas retangulares, ovaladas ou irregulares com dimensões que oscilam de 0,5 cm x 2,0 cm até 2,0 cm x 6,0 cm. Os contatos mais freqüentes na matriz são os côncavo-convexos e lobulados, sendo o tipo plano quase exclusivo da biotita e dos agregados de quartzo recristalizados com textura poligonal presentes nas faixas mais afetadas pela protomilonitização. Os fenocristais apresentam contatos côncavo-convexos, lobulados a interlobados e serrilhados.

O microfissuramento é baixo a moderado caracterizado pelo predomínio de planos intragrãos sobre os intergrãos, ambos bem desenvolvidos, e pela baixa comunicação. Podem ocorrer planos preenchidos por sericita, epídoto e carbonato. Dentre todos os minerais o quartzo é o mais afetado.

A alteração mineral é disseminada variando de ausente a pouco desenvolvida, atuando, mormente nos feldspatos, especialmente as pertitas do microclínio.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 A.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio: ocorre como megacristais com evidentes texturas pertíticas, mirmequíticas e geminações dos tipos Carlsbad e em grade. Apresentam contatos côncavo-convexos e lobulados. Inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita são comuns, sobretudo nas bordas. Na matriz ocorre como cristais subedrais a anedrais, com dimensões gradando até os megacristais, apresentando também a geminação em grade e pertitização em filmes e filetes

e contatos lobulados, côncavo-convexos e serrilhados. A alteração tanto nos cristais da matriz quanto nos megacristais é moderada a intensa apresentando sericita, epídoto e carbonatos, especialmente nas fraturas, clivagens e pertitas, e por vezes se concentrando preferencialmente nas bordas. O microfissuramento é baixo a ausente e mais intenso nos megacristais. Os planos são do tipo intragrão e de baixa comunicação, podendo apresentar preenchimento por materiais de alteração. Tanto megacristais quanto cristais da matriz apresentam extinção ondulante fraca a moderada.

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais subedrais a anedrais exclusivos da matriz, com dimensões entre média a média-fina e geminação polissintética, sendo os cristais maiores freqüentemente zonados. O microfissuramento é baixo, praticamente sem comunicação e planos preenchidos são relativamente freqüentes. A alteração mineral é incipiente a moderada e se dá pela saussuritização que ocorre disseminada pelo cristal ou concentrada no núcleo dos cristais zonados. Alguns cristais apresentam discreta extinção ondulante.
- Quartzo: ocorre como cristais anedrais em posições intersticiais ou em cristais alongados isolados, também anedrais, que podem atingir dimensões de cerca de 10,0 mm de comprimento. É o mineral com maior microfissuramento, caracterizado por planos intragrão, raramente intergranular, com freqüente preenchimento por sericita + carbonatos e comunicação baixa a ausente. Apresenta raras inclusões de biotita e uma quantidade extremamente grande de inclusões de rutilo/ilmenita (?) inferiores 0,1 µm orientadas segundo direções de um sistema ortogonal ou não. Exibe ainda forte extinção ondulante, limites de subgrão e grãos recristalizados com contatos serrilhados. Grãos menores que envolvem os megacristais de microclínio apresentam contato poligonizado.
- Biotita: corresponde a lamelas de bordas irregulares a planas, dispostas como agregados mais ou menos concordantes com a foliação. As lamelas menores e mais finas podem exibir extinção ondulante. Raramente encontra-se alterada em clorita. Apresentam pleocroísmo castanho claro a marrom escuro com freqüentes inclusões de zircão, apatita e opacos.
- Acessórios: são opacos com formas irregulares; cristais prismáticos de apatita e cristais subedrais a euedrais de titanita, ambos preferencialmente associados à biotita. Há também as inclusões de zircão na biotita e rutilo/ilmenita (?) no quartzo.
- Secundários: correspondem à clorita oriunda das transformações parciais da biotita, e à sericita, epídoto, argilominerais e raros carbonatos (resultantes da alteração dos feldspatos).

Azul Sucuru – AZS (microsienogranito porfirítico)

Rocha paraibana de ocorrência no distrito homônimo, pertencente ao município de Sumé. Apresenta matriz cinza escura da qual se destacam fenocristais azuis de quartzo e róseos a acinzentados de feldspato potássico, conferindo um aspecto estético exótico e pouco comum com grande aceitação no mercado nacional e internacional. Petrograficamente corresponde a um microsienogranito porfirítico. Exibe estrutura foliada com orientação evidente do quartzo, feldspato e biotita, embora os fenocristais não estejam perfeitamente isorientados. A textura é fanerítica, porfirítica com fenocristais (cerca de 15%) de dimensões entre 3,0 e 11,0 mm imersos em matriz fina (< 1,0 mm). De maneira geral a rocha apresenta bom imbricamento mineral, devido à presença de contatos côncavo-convexos, lobulados, serrilhados e planos em proporções equivalentes. A matriz mostra grãos finos equidimensionais de quartzo em diferentes estágios de recristalização, anfibólios e biotitas corroídos e feldspatos subedrais, ao passo que os fenocristais, especialmente os de quartzo, exibem nítido estiramento mineral.

O microfissuramento é quase ausente na matriz e pouco mais intenso nos fenocristais. Caracteriza-se pela ocorrência de planos intragrãos retilíneos a curvos com orientações diversas, embora por vezes seja notável nos fenocristais de feldspato um ligeiro predomínio de planos retilíneos em microzonas de fratura. Localmente apresentam preenchimento por muscovita/clorita, sericita e carbonato.

O grau de alteração é fraco na matriz, porém os fenocristais de feldspato potássico e os cristais maiores de plagioclásio encontram-se fortemente sericitizados e saussuritizados. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 A.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio+Ortoclásio: na matriz há ortoclásio como grãos subedrais a anedrais inferiores a 0,5 mm, exibindo freqüentemente bordas irregulares e corroídas, baixo microfissuramento, extinção ondulante e sericitização pouco avançada. Os fenocristais são de microclínio subedrais a euedrais, com dimensões variando de 3,0 mm a 11,0 mm, com contatos retilíneos a côncavo-convexos, apresentando extinção ondulante e freqüentemente com inclusões de quartzo e, mais raramente, de plagioclásio. O microfissuramento é baixo a moderado com planos comunicantes. A sericitização é variável apresentando maior intensidade nos fenocristais menores ao passo que os maiores estão mais afetados apenas nos filetes pertíticos.

- Plagioclásio (oligoclásio): ocorre na matriz como grãos anedrais a subedrais de dimensões inferiores a 0,3 mm, apresentando contatos irregulares serrilhados, lobulados e planos, fracamente saussuritizado, com baixo microfissuramento e extinção ondulante. Raramente apresenta tamanhos da ordem de 1,0 mm, estando nesse caso fortemente saussuritizado. Localmente ocorre como fenocristais com até 5,0 mm.
- Quartzo: na matriz apresenta dimensão variável entre 0,6 mm e 0,01 mm, predominando as frações mais finas, sendo estas produto de microgranulação acompanhada de recristalização de grãos maiores. Os contatos variam entre lobulados, serrilhados, côncavo-convexos e planos, nesse caso formando típica textura em mosaico. O microfissuramento é baixo, do tipo intragrão e as microestruturas presentes são o limite de subgrão e a extinção ondulante. A granulação da matriz grada discretamente para termos mais grossos definindo uma textura serial juntamente com os fenocristais que atingem dimensões de até 5,0 mm. Esses últimos apresentam formas euedrais, com contatos planos, serrilhados e raramente lobulados. O microfissuramento é médio a forte, definido por planos do tipo intragrão mais ou menos paralelos, embora planos intergrão sejam comuns. A comunicabilidade desses planos é variável de ausente a intensa em alguns grãos, sendo planos preenchidos por sericita relativamente comuns. Observam-se trilhas de inclusões fluídas, extinção ondulante (tipo tabuleiro de xadrez), bandas e lamelas de deformação, esses últimos provavelmente responsáveis pela cor azulada dos fenocristais.
- Biotita: lamelas com bordas corroídas e dimensões entre 0,5 mm e 0,01 mm, predominando termos menores que 0,1 mm. Encontra-se intimamente associada aos anfibólios e opacos presentes. Há variações no pleocroísmo de verde escuro a amarelo e marrom a verde. Algumas lamelas estão total ou parcialmente alteradas em clorita.
- Anfibólios (ferrohastingsita+arfvedsonita+hornblenda): ocorrem intimamente associados, sendo a hornblenda menos freqüente. Apresentam forma anedral, com bordas fortemente corroídas e cristais diminutos (0,01 mm), podendo alcançar até 0,3 mm. Os grãos que preservam hábito prismático, dispõem-se mais ou menos orientados segundo a foliação.
- Acessórios: a titanita e os opacos ocorrem dispersos pela matriz, preferencialmente associados à biotita e anfibólios. Zircão e rutilo/ilmenita (?) estão como inclusões no quartzo e o primeiro também na biotita. A allanita é rara e ocorre como cristais inferiores a 0,2 mm, e a fluorita ocorre como cristais fraturados de até 0,2 mm dispersos.
- Secundários: correspondem a sericita, epídoto e carbonatos provenientes da alteração dos feldspatos. A clorita ocorre como produto da alteração da biotita

Jacarandá Rosado – JR (migmatito nebulítico sienogranítico)

Rocha lavrada em Extrema (MG), exibe coloração rósea acastanhada a acinzentada contendo esparsas pontuações pretas e padrão estético variável, entre o homogêneo e o movimentado (fantasia), definido por típica estrutura migmatítica nebulítica. Este migmatito apresenta grandes variações estruturais e texturais, como é típico nesse tipo de rocha. Em geral há predomínio da estrutura nebulítica, sendo possível o reconhecimento de foliação com planos espaçados, localmente perturbados por dobras, que definem as estruturas migmatíticas do tipo dobrada a flebítica.

A textura é fanerítica, inequigranular com granulação predominantemente média, com gradações localizadas para termos com granulação fina ou para média-grossa. Os contatos minerais são variados, predominando os tipos côncavo-convexos e lobulados, que por vezes tende a contatos planos, ocorrendo localmente minerais com contatos serrilhados.

O microfissuramento moderado a intenso afeta de maneira semelhante todas as espécies minerais e é definido por planos intragrão com e sem comunicação. Fraturas intragranulares são planos pouco extensos que afetam dois ou três cristais, embora não raras. O preenchimento por minerais secundários é comum. O grau de alteração varia de fraco a moderado, sendo ligeiramente mais intenso no plagioclásio que no feldspato.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 A.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio pertítico: cristais anedrais a subedrais, com bordas/contornos irregulares, contatos côncavo-convexos a lobulados (localmente planos ou serrilhados) com dimensões entre 0,5 mm e 6,0 mm, predominando 2,0 mm. Apresenta suave extinção ondulante e o microfissuramento é moderado a fraco, por vezes com planos comunicantes, e preenchidos por minerais secundários (sericita). A sericitização é fraca a moderada, distribuída em manchas disseminadas nos cristais e ligeiramente mais intensa nos planos de fraturas. Inclusões de quartzo, biotita, opacos, zircão e apatita são comuns.
- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, irregulares com contatos côncavo-convexos, lobulados e planos com dimensões entre 0,3 mm e 4,0 mm, predominando 1,5 mm. Exibe discreta extinção ondulante e o microfissuramento é moderado a fraco com planos intragrãos comunicantes ou não, por vezes preenchidos por minerais secundários. A

alteração (saussuritização) é fraca e está concentrada em manchas localizadas preferencialmente nas bordas dos cristais com as maiores dimensões.

- Quartzo: forma cristais anedrais em posição intersticial ou não, com contatos côncavo-convexos a lobulados, tendendo a plano ou, mais raramente, a serrilhado. A dimensão média é de 3,0 mm e oscila entre 0,1 mm (inclusões) e 6,0 mm. Exibe extinção ondulante média a forte e limites de subgrão. O microfissuramento é moderado a forte, com planos intragranulares com e sem comunicação em proporções equivalentes. Alguns estão preenchidos por minerais secundários. A ocorrência de trilhas de inclusões fluidas e sólidas é bastante intensa e freqüentemente associam-se às microfissuras constituindo complexos sistemas de descontinuidades.
- Biotita: compreende lamelas de bordas planas, por vezes côncavas, com forte pleocroísmo. As dimensões mais comuns são ao redor de 1,0 mm, variando entre 0,2 mm e 2,0 mm. Não foram observados indícios de alteração. Localmente formam aglomerados de lamelas e estão associados aos minerais opacos.
- Acessórios: compreendem os opacos (magnetita e hematita?), granada, zircão, titanita e apatita. Os opacos ocorrem com dimensões de até 0,2 mm disseminados pela rocha e freqüentemente associado a biotita. A granada é rara e está sempre associada à biotia. A titanita, o zircão e a apatita ocorrem como diminutos cristais inclusos nos feldspatos.
- Secundários: correspondem aos produtos da alteração do microclínio (sericita + argilominerais) e do plagioclásio (sericita, epídoto e carbonatos).

Kashimir – KA (granada gnaisse sienogranítico)

Rocha de coloração branca levemente amarelada com pontuações vermelhas a róseas disseminadas, por vezes orientadas em planos preferenciais, definindo um aspecto estético relativamente homogêneo. A foliação é discreta, identificável apenas em grandes volumes de rocha; textura inequigranular média a fina, predominando média-fina. Nos últimos anos este material lavrado na região de Nova Venécia, e seus assemelhados provenientes de outras regiões capixabas e também baianas, alcançaram notável aceitação no mercado nacional e europeu, em função da tendência estética vigente que tem privilegiado materiais com cores claras e texturas homogêneas.

Os contatos minerais mais freqüentes são côncavo-convexos a lobulados, sendo os tipos planos e serrilhados praticamente ausentes. O microfissuramento varia de fraco (para os

feldspatos em geral) a moderado (caso do quartzo e granada). Os planos intragrão são amplamente predominantes e sem preenchimento por minerais secundários, ao passo que os planos intergranulares freqüentemente mostram preenchimento. Os feldspatos apresentam planos sem comunicação dispostos paralelamente, enquanto a granada e o quartzo exibem microfissuras com traços curvos e comunicantes.

A alteração mineral varia de média a incipiente afetando os feldspatos de forma bastante variada, com cristais total ou parcialmente alterados. A coloração discretamente amarelada observada em alguns pontos das amostras de mão e placas polidas são devidas a presença de hidróxidos de ferro associado a massa sericítica, percolando os contatos minerais e por vezes em planos de fratura. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 A.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio mesopertítico: cristais subedrais a anedrais com dimensões entre 0,5 mm e 5,0 mm, predominando 2,0 mm a 3,0 mm. Apresenta formas irregulares a tabulares e contatos côncavo-convexos a lobulados. O microfissuramento é baixo, intragrão, por vezes preenchido por minerais secundários e raramente comunicante. Exibe extinção ondulante pouco evoluída, e sericitização incipiente dispersa em alguns pontos de raros cristais. A textura mesopertítica é definida por filetes e gotículas alongadas de plagioclásio sobre o microclínio.
- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais com dimensões semelhantes ao microclínio. Os contatos predominantes são côncavo-convexos e lobulados. O microfissuramento é baixo a moderado com planos intragrãos sem comunicação, e apenas em raros cristais é intenso, com planos comunicantes. A alteração é bastante variável quanto a intensidade, distribuição e forma, sendo observáveis cristais praticamente sãos e outros completamente saussuritizados sobre os quais se desenvolve muscovita de até 2,0 mm. Em outros cristais são observadas manchas saussuritizadas aleatoriamente distribuídas e planos de fratura bastante afetados. Alguns cristais apresentam textura mirmequítica.
- Quartzo: ocorre como cristais anedrais com contatos côncavo-convexos a lobulados, ocasionalmente serrilhados, com dimensões entre 0,5 mm e 5,0 mm predominado 2,0 mm. Exibe extinção ondulante média a forte e limites de subgrão. O microfissuramento é moderado com planos intragranulares com e sem comunicação. Muitos planos estão

preenchidos por minerais secundários. É comum a ocorrência de trilhas de inclusões fluídas e sólidas, indicando fraturas seladas.

- Granada: corresponde a cristais arredondados de coloração vermelho escura a rósea, com dimensões variando de 1,0 mm a 4,0 mm, predominando 2,0 mm. O microfissuramento é intenso com planos comunicantes, por vezes preenchidos por massas de hidróxidos de ferro. Alguns cristais apresentam textura poiquiloblástica.
- Acessórios: correspondem a muscovita, apatita, opacos, zircão e titanita. A muscovita ocorre disseminada na rocha como raras lamelas com até 1,0 mm de comprimento. A titanita é rara ocorrendo localmente associada ao zircão e opacos. Os demais ocorrem como inclusões nos feldspatos e quartzo.
- Secundários: correspondem a muscovita, sericita, epídoto e carbonatos, os produtos da alteração do plagioclásio por processos de saussuritização.

Preto São Gabriel – PSG (enderbito)

Rocha de cor verde escura, com estrutura compacta a discretamente foliada, definida pela maior ou menor orientação dos minerais máficos. Pontuações pretas e douradas disseminadas pela rocha correspondem aos opacos, biotita e pseudomorfos de piroxênio, respectivamente. Corresponde a um enderbito, diferentemente da rocha tradicionalmente reconhecida como Preto São Gabriel em IPT (1993), que se refere a um norito. A ocorrência estudada nesse trabalho localiza-se nas imediações do município capixaba de São Gabriel da Palha, ao passo que a rocha reportada nesta descrição refere-se a uma ocorrência no município de São Rafael, a leste de Colatina, no mesmo estado.

A textura é fanerítica inequigranular média-fina a média apresentando majoritariamente os contatos planos e côncavo-convexos a lobulados.

O microfissuramento varia de fraco a forte, afetando mais os feldspatos que o quartzo. Predominam planos intragrão, por vezes comunicantes e com preenchimento, sendo muito comum planos intergranulares nas porções feldspáticas, onde se observa um sistema cerrado de fratura em posição sub-perpendicular ao comprimento dos feldspatos.

A alteração mineral é ausente a incipiente e muito esparsa, restringindo-se basicamente aos minerais máficos. É comum a presença de hidróxidos de ferro percolando os contatos minerais, e também preenchendo planos de fratura, neste caso associado às massas sericíticas. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 B.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (andesina): cristais subedrais a anedrais, com granulação média a média-fina, exibindo nítida geminação polissintética. Os contatos mais freqüentes são do tipo plano e côncavo-convexo. O microfissuramento é moderado a baixo, sendo relativamente comum planos comunicantes e com preenchimento. A alteração mineral é ausente a incipiente localizadas em discretas pontuações. A presença de inclusões de apatita, biotita e zircão é mais freqüente nos cristais maiores. Alguns cristais apresentam discreta extinção ondulante.
- Quartzo: são cristais anedrais em posições intersticiais ou cristais alongados isolados entre lamelas de biotita ou cristais de plagioclásio, com tamanhos entre 0,2 mm e 2,5 mm. O microfissuramento é baixo, caracterizado por planos intragrão, raramente intergranular, sem comunicação e raramente preenchido por minerais secundários. Alguns cristais apresentam discreta extinção ondulante.
- Microclínio: corresponde a poucos cristais anedrais com pronunciada geminação em grade. Mirmequitas e pertitas são comuns, esta última ocorrendo como gotículas e em chama. Os contatos mais comuns são côncavo-convexos, raramente planos. Não apresenta alteração mineral. O microfissuramento é baixo a ausente.
- Biotita: lamelas de bordas regulares e planas, com comprimento entre 0,3 e 5,0mm, intimamente associada aos opacos, hornblenda, pseudomorfos e clinopiroxênios estes últimos apresentando feições de corrosão e reação. Inclusões de apatita, opacos e quartzo são comuns, sendo as inclusões de zircão raras. Exibe pleocroísmo amarelo pálido a marrom escuro. Raramente apresenta pontuações de sericita.
- Diopsídio: ocorre como cristais prismáticos irregulares a ovalados, com forte birrefringência e tamanho variando 0,2 mm a 0,6 mm. Está intimamente associado à biotita, hornblenda, opacos e aos pseudomorfos, possivelmente de ortopiroxênios. Freqüentemente apresenta as porções centrais dos cristais alteradas para fino agregado microcristalino constituído por filossilicatos e algum epídoto. O fraturamento é intenso e por vezes se confunde com o cerrado sistema de clivagem.
- Hornblenda: ocorre como cristais anedrais a subedrais corroídos, com pleocroísmo intenso de amarelo pálido ao marrom escuro. Associa-se ao clinopiroxênio, aos pseudomorfos e à biotita. Alguns cristais estão parcialmente alterados em biotita.
- Pseudomorfos (de ortopiroxênio?): são agregados com aspecto sujo, do tipo bastítico, compostos por fina massa filossilicática fibrosa a criptocristalina que preservam forma ovalada a prismática, possivelmente resultado da total transformação de cristais de ortopiroxênio por efeitos metassomáticos/deutéricos tardios. Associa-se aos opacos e ao clinopiroxênio.
- Opacos (magnetita?): constituem cristais anedrais raramente subedrais associados à biotita e ao clinopiroxênio. As dimensões variam de 0,2 mm a 1,0 mm, cujos contatos com os demais minerais são predominantemente côncavo-convexos. Quando alterado libera

óxidos e hidróxidos de ferro que percolam entre os grãos minerais e os planos de fratura. Também ocorrem inclusos na biotita.

- Apatita: forma cristais arredondados a prismáticos dispersos pela rocha e inclusos na biotita e andesina, mas preferencialmente associado à biotita.
- Acessórios: correspondem aos cristais prismáticos de apatita, bastante freqüentes dispersos pela rocha ou inclusos no plagioclásio; aos cristais prismáticos de zircão, que ocorrem disseminados pela rocha e como inclusões na biotita e plagioclásio; e, aos diminutos e raros cristais subedrais de titanita.
- Secundários: são hidróxidos de ferro liberados pelos minerais opacos; a sericita que ocorre raramente sobre a biotita; e os agregados microcristalinos filossilicáticos contendo óxidos/ hidróxidos de ferro resultantes da decomposição de cristais de piroxênios.

Rosa Itupeva – RI (biotita sienogranito)

Corresponde a um sienogranito róseo acastanhado, homogêneo, levemente foliado, com textura fanerítica, xenomórfica, inequigranular média-grossa a média-fina (variando entre 2,0 mm e 10,0 mm, esporadicamente atingindo 13,0 mm).

Os contatos minerais são bastante variados e parece não haver um tipo predominante, embora as porções quartzosas apresentem mais contatos côncavo-convexos tendendo a serrilhados e as porções feldspáticas mostrem predomínio de contatos planos. Apresenta microfissuramento moderado, especialmente o mineral quartzo. Em geral são planos intragrãos abertos e mais raramente preenchidos por minerais secundários. Planos comunicantes são pouco comuns e associados aos planos intergranulares.

Alteração mineral é moderada a intensa, sobretudo em feldspatos, ocorrendo concentrada nas porções centrais dos cristais de menores e disseminada ou como manchas localizadas nos cristais maiores. Freqüentemente ocorre pigmentação avermelhada ou alaranjada devido a presença de hidróxidos de ferro concentrados em porções biotíticas ou percolados em contatos minerais.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 B.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio: são cristais subedrais a anedrais, com geminação em grade, Carlsbad e Manebach. Apresenta textura pertítica do tipo filme ou formando manchas interligadas por filetes. A alteração é incipiente com porções sericitizadas e argilizadas, especialmente sobre as pertitas. Os contatos planos predominam e são seguidos dos tipos côncavo-convexos, lobulados e serrilhados. Alguns cristais apresentam fraca extinção ondulante e o microfissuramento é moderado a ausente, definido por planos intragrão sem comunicação.

As dimensões dos cristais variam de média a média-grossa (cristais entre 3,0 mm e 10,0 mm, e esporadicamente 13,0 mm).

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, com tamanho médio e geminação polissintética. A alteração mineral (saussuritização) é intensa afetando completamente os cristais especialmente nas porções centrais. O microfissuramento é baixo, praticamente sem comunicação e sem preenchimento. Os contatos mais comuns são planos. Alguns cristais maiores (cerca de 4,0 mm a 5,0 mm) apresentam discreta extinção ondulante.
- Quartzo: ocorre como cristais anedrais intersticiais, que apresentam contatos côncavo-convexos, lobulados e serrilhados, com dimensões entre média-fina e média. Todos os cristais apresentam extinção ondulante que varia de fraca a forte, por vezes com limites de subgrão. O microfissuramento é forte, caracterizado por planos inter e intragrão, comunicantes ou não, por vezes preenchido por sericita e carbonatos. Trilhas de inclusões fluídas e sólidas são muito comuns.
- Biotita: ocorre como lamelas de bordas regulares planas ou não, com dimensões entre 0,2 mm e 1,8 mm. O pleocroísmo varia do marrom escuro ao castanho amarelado. Os cristais menores estão alterados em clorita, e os maiores apresentam as bordas levemente cloritizada. Há inclusões de zircão e opacos e comumente associada a titanita.
- Acessórios: representados por opacos com formas irregulares e dimensões máximas de 1,0 mm; pela titanita, com formas losangulares e cristais inferiores a 1,5 mm, normalmente associada a biotita e aos minerais opacos; pela apatita disseminada, e pelo zircão incluso na biotita ou disseminado pela rocha.
- Secundários: correspondem a sericita, epídoto, argilominerais e carbonatos como produtos da alteração dos feldspatos; e clorita como alteração da biotita.

Verde Camacho – VCM (migmatito charnockítico nebulítico)

Essa rocha é proveniente do Bairro dos Costas no município Camacho, em Minas Gerais. Corresponde a um migmatito nebulítico de coloração verde claro acinzentado com porções localmente acastanhadas. Exibe concentrações lineares descontínuas de minerais máficos irregularmente distribuídas e grosseiramente isorientadas realçando a discreta foliação dessa rocha.

Apresenta textura fanerítica equi- a inequigranular com granulação variando de média-grossa a fina, predominando média. Localmente exibe delgadas faixas alongadas, descontínuas a onduladas, de material mesossômico com textura de caráter granoblástico contendo discretas concentrações de minerais máficos com textura granolepidoblástica. Os contatos minerais são majoritariamente lobulados e côncavo-convexos. O microfissuramento é moderado a forte, predominantemente intragrão, e afeta mais os feldspatos, os quais freqüentemente exibem planos comunicantes e preenchidos por minerais secundários. Planos

intergrãos ocorrem em algumas porções, podendo atingir comprimento de até 6,0 mm, e via de regra estão preenchidos por minerais secundários (sericita+epídoto+carbonatos).

A alteração é fraca a incipiente e afeta as bordas dos feldspatos (especialmente plagioclásio) e os planos de fratura. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 B.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, com tamanho médio-fino e geminação polissintética em forma de cunha, típica de recristalização. Os contatos côncavo-convexos e lobulados são predominantes, ocorrendo por vezes o tipo plano. A alteração (saussuritização) é fraca a moderada, afetando principalmente as bordas e os planos de fratura. São comuns inclusões de biotita, quartzo e zircão. O microfissuramento é moderado a forte, com baixa comunicação e planos intragrão raramente preenchidos.
- Microclínio mesopertítico: cristais anedrais, com geminação em grade e textura pertítica do tipo filme ou filete, com dimensões variando entre 0,4 mm e 3,0 mm. Inclusões de quartzo, biotita e ortopiroxênios bastitzados são comuns. Os contatos são quase exclusivamente dos tipos lobulados e côncavo-convexos. A alteração incipiente a fraca caracteriza-se por porções sericitizadas e argilizadas. Cristais com extinção ondulante moderada são freqüentes. O microfissuramento é moderado a ausente, definido por planos intragrão e diversas vezes exibem preenchimento.
- Quartzo: cristais anedrais intersticiais com contatos lobulados a côncavo-convexos e dimensão média de 2,0 mm. Microestruturas como extinção ondulante (fraca a forte), limites de subgrão e subgrão são muito comuns, ao passo que o microfissuramento é fraco, intragrão, e de baixa comunicação. A ocorrência de trilhas de inclusões submicroscópicas fluidas e/ou sólidas é muito comum, formando planos de descontinuidades.
- Diopsídio: representado por cristais esverdeados, com bordas irregulares, intensamente microfissurados e parcialmente alterados e pseudomorfos de ortopiroxênio totalmente transformados para agregado pulverulento contendo biotita verde, carbonatos e fina massa filossilicática microcristalina (bastita). Freqüentemente associado à biotita, opacos e titanita.
- Biotita: lamelas de bordas planas a irregulares com dimensões máximas entre 0,1 mm e 1,5 mm, com pleocroísmo marrom escuro ao castanho amarelado. Há também a variedade verde intimamente associada ao ortopiroxênio, visto que é um produto de retrometamorfismo deste. Quando disseminada raramente está alterada, porém quando associada ao ortopiroxênio a presença de clorita é comum. Há inclusões de zircão.
- Acessórios: correspondem aos opacos com formas irregulares a arredondadas; raros cristais de titanita prismáticos e às inclusões de zircão na biotita. A apatita aprece como inclusões submilimétricas nos plagioclásios.

- Secundários: provenientes da alteração dos feldspatos correspondem a sericita, epídoto e carbonatos. Os carbonatos também são provenientes da alteração do diopsídio. A clorita ocorre como alteração da biotita. Também estão presentes agregados pulverulentos sobre cristais de piroxênios contendo biotita verde, carbonatos e fina massa filossilicática (bastita).

Verde Candeias – VCD (migmatito enderbítico nebulítico)

Migmatito proveniente de Candeias (MG), com estrutura nebulítica, coloração verde acinzentado claro com manchas verde escuro e localmente com porções róseas. Exibe, ao nível de afloramento, discreto aspecto movimentado dado pela presença de pequenas dobras disruptas, com ápices espessados e flancos adelgaçados, realçadas por certo enriquecimento de minerais máficos e variações na granulação dos minerais félsicos. A discreta foliação é espaçada e pouco penetrativa, localmente formando concentrações lineares descontínuas de minerais máficos com maior ou menor isorientação. Em campo, a foliação é mais realçada nas porções dobradas, caracterizada por certo grau de transposição superimposta.

A textura é predominantemente fanerítica equigranular média, localmente inequigranular média-grossa. Nas porções movimentadas, onde pode preservar vestígios de paleossomas ou mesossomas, chega a exibir discreta textura de caráter granoblástico. Os contatos minerais são côncavo-convexos e lobulados, tendendo a planos nas porções enriquecidas em minerais máficos. O microfissuramento é forte e com alta comunicação, predominantemente intragrão, sendo muito comuns planos intergrãos. O preenchimento por minerais secundários é freqüente, e em algumas porções esses planos superam os demais.

A alteração é fraca a moderada e ocorre disseminada nos cristais de plagioclásio, prioritariamente nas bordas e em planos de fratura.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 B.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, com tamanho médio (2,0 mm a 3,0 mm), geminação polissintética e textura antipertítica. Os contatos côncavo-convexos, lobulados e planos são igualmente freqüentes, havendo certo predomínio dos primeiros. São comuns inclusões de biotita, quartzo e zircão. A alteração (saussuritização) é fraca a moderada, afetando principalmente os planos de fratura e de clivagem. O microfissuramento é moderado a forte, com comunicação média a alta, com planos intra- e intergrãos. Planos com e sem preenchimento de minerais secundários ocorrem em proporções semelhantes. As microestruturas mais presentes são extinção ondulante fraca a moderada e a geminação polissintética em forma de cunha.

- Microclínio pertítico: cristais anedrais, com geminação em grade, dimensões variando entre 1,0 mm e 3,0 mm e os contatos lobulados e côncavo-convexos predominantes. Cristais com extinção ondulante moderada são freqüentes. O microfissuramento é moderado a ausente, tipo intragrão, freqüentemente preenchido por minerais secundários. A alteração é ausente a incipiente. Ocorre extinção ondulante fraca.
- Quartzo: cristais anedrais intersticiais ou não, por vezes ovalados, com contatos lobulados a côncavo-convexos e tamanho médio a médio-grosso (2,0 mm a 4,0 mm). Microestruturas como extinção ondulante (fraca a forte) e limites de subgrão. O microfissuramento é fraco a moderado, intragrão e transgranular, com preenchimento por minerais secundários relativamente freqüente. Trilhas de inclusões fluídas são intensas, bem como inclusões sólidas e ou fluídas dispersas pelos cristais.
- Piroxênios alterados: cristais esverdeados com bordas irregulares a planas, com microfissuramento variável. Constituem cristais totalmente alterados (provavelmente de ortopiroxênios) e transformados numa mistura fina e pulverulenta de bastita (talco+sericita+biotita verde) e argilominerais. Freqüentemente associado a biotita e opacos.
- Biotita: lamelas de bordas planas a irregulares com dimensões máximas entre 0,1 e 1,5 mm, com pleocroísmo marrom escuro ao castanho amarelado. Ocorre disseminada pela rocha e também associada aos opacos e ortopiroxênio.
- Acessórios: são os opacos com formas irregulares a arredondadas (por vezes associado a biotita), esporádicos cristais arredondados a prismáticos de apatita; raros cristais de titanita, e inclusões de zircão na biotita.
- Secundários: provenientes da alteração dos feldspatos, correspondem a sericita, epídoto e carbonatos. Também cabe destaque para a presença da fina e pulverulenta massa de bastita (talco+sericita+biotita verde) e argilominerais, provavelmente gerada pela transformação de cristais de ortopiroxênio. A clorita é rara e ocorre como alteração da biotita.

Verde Maritaca – VM (migmatito charnockítico nebulítico)

Ocorre no município de Candeias (MG) e corresponde a migmatito nebulítico de coloração verde com pontuações pretas (minerais máficos) e avermelhadas/róseas (feldspatos). Exibe foliação discreta a bem marcada, no geral com planos espaçados e pouco penetrativos, definidos por concentrações lineares descontínuas de minerais máficos. Em campo, é freqüente a ocorrência de dobras contorcidas de pequeno porte, com flancos descontínuos e disruptos, de aspecto geral difusas, que lhe conferem localmente típica estrutura flebítica. Também pode, por vezes, exibir alinhamentos e faixas/leitos mais ou menos persistentes enriquecidas em minerais máficos e/ou de granulação mais fina que a média da rocha, o que imprime certo aspecto bandado à rocha.

A textura é fanerítica inequigranular média a média-fina, localmente média-grossa, com contatos minerais côncavo-convexos tendendo a planos, e localmente lobulados, dispostos de tal maneira que resultam em bom engrenamento mineral. O microfissuramento intragrão é forte e com intensa comunicação, a qual é localmente ampliada por planos intergrãos. O preenchimento por minerais secundários ocorre com relativa freqüência.

A alteração é fraca a moderada e ocorre disseminada nos cristais de plagioclásio. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 C.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (oligoclásio/andesina): cristais anedrais a subedrais, com dimensões entre 0,2 mm e 4,0 mm (em média 2,0 mm a 3,0 mm), geminação polissintética (por vezes em cunha), extinção ondulante fraca e textura antipertítica. Os contatos côncavo-convexos e planos são igualmente freqüentes, e o tipo lobulado é mais raro. A alteração (saussuritização) é fraca a moderada e ocorre disseminada pelos cristais, por vezes constituindo manchas localizadas. O microfissuramento é moderado a forte, com comunicação média a alta, com planos intra- e intergrãos, por vezes preenchidos por minerais secundários.
- Microclínio pertítico: cristais anedrais, com geminação em grade, dimensões variando entre 0,5 mm e 2,0 mm. Os contatos são lobulados e côncavo-convexos. Cristais com extinção ondulante moderada são freqüentes. O microfissuramento é moderado a fraco, intragrão, pouco comunicante e por vezes preenchido. A alteração é ausente a incipiente. Ocorre extinção ondulante.
- Quartzo: cristais anedrais intersticiais, por vezes ovalados, com contatos lobulados a côncavo-convexos, com forte extinção ondulante e limites de subgrão. Os cristais variam de 0,2 mm a 3,0 mm, predominando 3,0 mm. O microfissuramento é moderado, intragrão e comunicante, com preenchimento por minerais secundários relativamente freqüente. Trilhas de inclusões fluídas ou inclusões sólidas e fluídas disseminadas são muito comuns.
- Ortopiroxênio bastitizado: cristais esverdeados com bordas irregulares a planas, e forte microfissuramento. Provavelmente corresponde a cristais de hiperstênio parcial ou totalmente transformados em bastita (talco+sericita+biotita verde) e clorita, compondo uma mistura fina e pulverulenta. Freqüentemente associado a biotita e opacos.
- Clinopiroxênio: provavelmente corresponde ao diopsídio, ocorrendo como cristais esverdeados, com bordas lisas ou planas e dimensões de até 1,5 mm, bastante alterados. Associa-se ao aos demais máficos e opacos.
- Hornblenda: cristais esverdeados a marrons (pleocróicos) com bordas lisas e contatos lobulados, côncavos e planos, e dimensões médias entre 0,3 mm e 1,0 mm. Por vezes está microfissurada, e via de regra associa-se aos opacos e biotita. Concentra-se em algumas porções, atingindo de 4 % a 5 % do volume, mas no geral representa 2,0 % da rocha.

- Biotita: lamelas de bordas planas com dimensões máximas entre 0,1 mm e 1,5 mm, com pleocroísmo marrom escuro ao castanho amarelado. Ocorre disseminada pela rocha e também associada aos opacos e ortopiroxênio.
- Acessórios: são os opacos com formas arredondadas (por vezes associado à biotita), cristais submilimétricos arredondados a prismáticos de apatita e prismáticos de zircão. A titanita é esporádica.
- Secundários: provenientes da alteração do plagioclásio correspondem a sericita, epídoto e carbonatos.

Verde Veneciano – VV (gnaisse charno-enderbítico com granada)

Rocha proveniente de Nova Venécia (ES), correspondente a um charnockito porfirítico com granada, de coloração verde escuro com pontuações avermelhadas (cristais de granada). Em algumas amostras ocorrem pontuações esbranquiçadas, correspondentes ao quartzo. Exibe textura porfirítica com fenocristais de feldspato potássico ocelares ou ovalados, os quais estão ora orientados pela foliação bem marcada (definida por concentrações lineares descontínuas) e localmente anastomosada. A matriz apresenta textura fanerítica inequigranular média a média-grossa, localmente média-fina, de caráter granolepidoblástico, com contatos côncavo-convexos tendendo a planos, e localmente lobulados, resultando em bom engrenamento mineral. Os megacristais perfazem cerca de 20 % da amostra, sendo que os menores apresentam em média 2,0 cm de comprimento e os maiores cerca de 6,0 cm a 7,0 cm. O microfissuramento intragrão é forte e com intensa comunicação, especialmente nos cristais de granada. Localmente apresenta planos intergrãos com comprimento da ordem de 5,0 mm. O preenchimento por minerais secundários ocorre com relativa freqüência.

A alteração é praticamente ausente, restrita aos piroxênios. A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 C.

Descrição Mineralógica:

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, com dimensões entre 1,0 mm e 6,0 mm (em média 2,0 mm a 3,0 mm), geminação polissintética (por vezes em cunha), extinção ondulante fraca e textura antipertítica. Os contatos côncavo-convexos e planos são igualmente freqüentes, e o tipo lobulado é mais raro. A alteração é ausente a incipiente e ocorre disseminada pelos cristais. O microfissuramento é moderado a forte, com comunicação média a alta, com planos intra- e intergrãos, por vezes preenchidos por minerais secundários. São freqüentes mirmequitas e inclusões de apatita, zircão, quartzo e biotita.

- Microclínio pertítico: na matriz corresponde a cristais anedrais, com geminação em grade, granulação variando entre 0,5 mm e 1,0 mm. Os contatos são retos a lobulados e exibem extinção ondulante moderada. Como fenocristais apresentam evidente textura pertítica e atingem dimensões de até 7,0 cm. O microfissuramento é moderado a fraco na matriz e intenso nos megacristais. Em ambos os casos é intragrão e comunicante, por vezes preenchido. A alteração é ausente a incipiente. Ocorre extinção ondulante.
- Quartzo: cristais anedrais, por vezes ovalados ou alongados, com contatos lobulados a côncavo-convexos, com forte extinção ondulante e limites de subgrão. A granulação varia de 0,2 mm a 6,0 mm, predominando 4,0 mm. O microfissuramento é moderado a intenso, intragrão e comunicante, por vezes preenchidos por minerais secundários. Trilhas de inclusões sólidas e/ou fluídas são muito comuns. Inclusões submilimétricas tabulares (feldspatos), prismáticas e aciculares (zircão e apatita) são comuns.
- Ortopiroxênio bastitizado: cristais esverdeados com bordas irregulares a planas, dimensões de até 1,5 mm e forte microfissuramento. Correspondem a cristais de hiperstênio parcial ou totalmente transformados em bastita (talco+sericita+biotita verde) e clorita, compondo uma mistura fina e pulverulenta. Freqüentemente associado á biotita e opacos.
- Diopsídio: cristais esverdeados a acastanhados com bordas irregulares a planas intimamente associado ao ortopiroxênio.
- Granada: cristais arredondados com bordas irregulares ou não e dimensões entre 1,0 mm e 10,0 mm (em média 4,0 mm), intensamente microfissurados, com planos comunicantes ou não, via de regra preenchido por óxidos e hidróxidos de ferro. A textura poiquiloblástica ocorre em praticamente todos os cristais, porém com intensidade variável. Inclusões de biotita, quartzo, opacos e piroxênios são comuns.
- Biotita: lamelas de bordas planas com dimensões máximas entre 0,1 mm e 1,5 mm, com pleocroísmo marrom escuro ao castanho amarelado. Ocorre disseminada pela rocha e também associada aos opacos e ortopiroxênio. Raramente está alterada em clorita.
- Acessórios: são os opacos com formas arredondadas (por vezes associado a biotita), cristais submilimétricos arredondados a prismáticos de apatita e prismáticos de zircão. A titanita é esporádica.
- Secundários: provenientes da alteração dos feldspatos correspondem a sericita, epídoto e carbonatos, e a bastita (talco+sericita+biotita verde) e clorita como produtos da alteração do ortopiroxênio.

Vermelho Bragança – VB (monzogranito porfirítico)

Rocha lavrada em Bragança Paulista (SP), homogênea com matriz de coloração vermelha de onde sobressaem megacristais de feldspatos róseos ligeiramente esbranquiçados (~10%) e de quartzo fumê (~3%). Corresponde a um monzogranito porfirítico serial, com

matriz fina a média, inequigranular. Exibe estrutura isotrópica a discretamente orientada, com os megacristais dispersos pela matriz sem orientação preferencial. A textura da matriz é inequigranular, hipidiomórfica a xenomórfica, com dimensões dos grãos oscilando entre 0,5 mm a 3,0 mm (em média 1,0 mm a 2,0 mm), com cristais de feldspato potássico e quartzo gradando até as dimensões dos megacristais, os quais raramente atingem 3,0 cm. Microscopicamente exibe evidentes efeitos deformacionais, de caráter protomilonítico a blastomilonítico, caracterizados principalmente por delgadas faixas descontínuas ou lenticulares de agregados de grãos de quartzo e feldspatos microgranulados.

Os contatos minerais dominantes são côncavo-convexos e serrilhados, sendo estes últimos mais comuns no quartzo. O tipo plano é praticamente restrito ao microclínio, plagioclásio e biotita.

O microfissuramento é moderado, proporcionalmente distribuído entre os feldspatos e quartzo, marcado por planos bem desenvolvidos, normalmente sem preenchimento, predominando os tipos intragranulares.

Exibe alteração mineral moderada a intensa, disseminada ou concentrada em manchas nos feldspatos, os quais mostram pigmentação devido a ocorrência de argilominerais coloridos por óxidos e hidróxidos de ferro, dispostos nas porções centrais ou ao longo das microfissuras.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 C.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio: na matriz aparece como cristais anedrais a subedrais, tendendo para euedrais nos megacristais. Caracteriza-se por geminação em grade, pertitas dos tipos filmes e filetes pouco desenvolvidas e por vezes exibe geminação tipo Carlsbad. Inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita são comuns nos cristais maiores. Os contatos mais freqüentes são planos, côncavo-convexos e lobulados. Vários cristais, especialmente os maiores, apresentam extinção ondulante fraca a moderada. O microfissuramento é moderado a ausente e mais intenso nos megacristais, caracterizado por planos intragrão, com baixa comunicação, apresentando preenchimento por materiais de alteração ou não. A alteração é moderada a intensa ocorrendo como manchas pulverulentas de argilominerais pigmentados e sericita.
- Plagioclásio (oligoclásio): cristais subedrais a anedrais exclusivos da matriz, com tamanho médio-fino e geminação polissintética. O microfissuramento é baixo, praticamente sem comunicação e sem preenchimento. A alteração mineral é moderada e se dá pela saussuritização que ocorre amplamente disseminada pelo cristal. Observam-se ainda cristais zonados, extinção ondulante fraca e inclusões de biotita, opacos e apatita.
- Quartzo: na matriz ocorre como cristais anedrais intersticiais ou formando pequenos agregados microgranulados arredondados, ovalados ou laminados, marcados por parcial ou

total recristalização. Via de regra o contato é serrilhado, variando para o tipo côncavo-convexo. As dimensões oscilam desde submilimétrica até megacristais. A extinção ondulante, bastante presente, varia de fraca a intensa, sendo comum a presença de limites de subgrão e subgrãos nas áreas mais recristalizadas. Ocorrem trilhas de inclusões fluídas e inclusões aciculares de rutilo/ilmenita (?).

- Biotita: ocorre como lamelas de bordas planas a irregulares, disposta como agregados ou cristais entre 0,3 mm e 0,5 mm, esporadicamente atingindo 1,0 mm. Apresenta pleocroísmo marrom escuro ao castanho claro. A cloritização é rara e se restringe as partes diminutas das bordas. Há inclusões de zircão e opacos. Alguns cristais podem estar deformados.
- Acessórios: são opacos com formas irregulares a euédricos; cristais prismáticos a aciculares de apatita; cristais subedrais de titanita, inclusões de zircão na biotita e cristais da ordem de 1 μm de rutilo/ilmenita (?) inclusos no quartzo.
- Secundários: correspondem a sericita, epídoto, argilominerais e raros carbonatos como produtos da alteração dos feldspatos.

Vermelho Capão Bonito – VCB (biotita sienogranito)

Este material proveniente do município paulista homônimo e de grande aceitação no mercado interno e externo, corresponde a um sienogranito homogêneo com padrão estético clássico definido pela coloração vermelho carne e textura fanerítica, xenomórfica, equigranular média a média-fina (granulação variando entre 2,5 mm e 6,0 mm). Os contatos minerais mais freqüentes são os tipos côncavo-convexos, lobulados e serrilhados, sendo o tipo plano praticamente exclusivo das biotitas. O microfissuramento é definido por planos intragrãos abertos e por vezes comunicantes, sendo bastante notável a presença de planos intergrãos que cortam vários cristais e estão preenchidos por sericita e carbonatos. Os feldspatos mostram planos paralelos ao comprimento do grão e o quartzo, que é o mineral mais afetado, mostra fissuras sem orientação preferencial.

Alteração mineral é moderada a intensa, ocorrendo concentrada nas porções centrais dos cristais menores e disseminada ou como manchas localizadas nos cristais maiores. Freqüentemente ocorre pigmentação devido à impregnação de argilominerais por hidróxidos de ferro.

A composição modal, determinada para os planos *xy*, *yz* e *xz*, está na Tabela 6.4 C.

Descrição Mineralógica:

- Microclínio: ocorre como cristais anedrais a raramente subedrais, com geminação em grade, Carlsbad e Manebach. Apresenta textura pertítica do tipo filme e formando manchas

interligadas por filetes. Inclusões de quartzo são comuns. Apresenta alteração incipiente com porções sericitizadas e argilizadas, por vezes tingidas por óxidos e hidróxidos de ferro. Os cristais estão mais afetados nas porções pertíticas. Os contatos mais freqüentes são côncavo-convexo, lobulados e planos. Alguns cristais apresentam extinção ondulante fraca a moderada. O microfissuramento é moderado a ausente definido por planos intragrão dispostos paralelamente ao comprimento do cristal. Planos preenchidos por minerais secundários são comuns.

- Plagioclásio (oligoclásio): cristais anedrais a subedrais, com dimensão média-fina e com presença de geminação polissintética. A alteração mineral é intensa afetando totalmente os cristais especialmente nas porções centrais, que se encontram saussuritizadas e argilizadas, por vezes tingidas por hidróxidos de ferro. O microfissuramento é baixo, praticamente sem comunicação e sem preenchimento. Os contatos mais comuns são côncavo-convexos e planos.
- Quartzo: ocorre como cristais anedrais intersticiais, que apresentam contatos côncavo-convexos e lobulados, com tamanho médio de 5,0 mm. Todos os cristais apresentam extinção ondulante que varia de fraca a forte, por vezes apresentando limites de subgrão. O microfissuramento é forte, caracterizado por planos inter e intragrão, comunicantes ou não, freqüentemente preenchido por sericita e carbonatos. Trilhas de inclusões fluídas são muito comuns e bem definidas.
- Biotita: lamelas de bordas irregulares, raramente planas, atingindo dimensão máxima de 2,0 mm a 3,0 mm. Apresenta pleocroísmo marrom escuro ao castanho amarelado. A alteração para clorita, nas bordas, é incipiente, sendo que o núcleo de algumas lamelas apresentam alteração mais intensa para sericita e muscovita. Há inclusões de zircão e opacos.
- Acessórios: corresponde aos opacos com formas irregulares a euédricas; cristais prismáticos de apatita (raro); cristais euédricos de allanita e inclusões de zircão na biotita.
- Secundários: sericita, epídoto, argilominerais e raro carbonato como produtos da alteração do plagioclásio; e clorita associada a sericita+muscovita como alteração da biotita.

CAPÍTULO 7

MICROFISSURAMENTO E ALTERAÇÃO MINERAL

O estudo do microfissuramento e da alteração mineral neste trabalho compreendeu aspectos qualitativos, apresentados no Capítulo 6 - Caracterização Petrográfica, e quantitativos mensurados com auxílio de um sistema de análise de imagens em todas as cerca de 70 lâminas estudadas.

Para a alteração mineral quantificou-se a porcentagem de área alterada (Aw) dos minerais, representados majoritariamente pelos feldspatos para as rochas feldspáticas e quartzo-feldspáticas, em especial o plagioclásio, conforme detalhado anteriormente. Nas rochas quartzosas considerou-se as impregnações por óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 7.1) e nas carbonáticas as áreas dos cristais de dolomita afetados por dissolução (Figura 7.2).

A quantificação do microfissuramento envolveu a intensidade (número médio de microfissuras por unidade de área) e a determinação do comprimento médio (Mc), ambos por meio de análise de imagens. Utilizando-se uma platina universal determinou-se a orientação preferencial das principais famílias, representadas em esquemas tridimensionais.

Para o estudo comparativo entre as amostras estudadas estabeleceram-se classes de agrupamentos baseadas nos parâmetros intensidade de microfissuras e área alterada, conforme critérios na Tabela 7.1, definidos pela análise do total de dados obtidos (Tabelas 7.2 e 7.3).

Tabela 7.1: Parâmetros adotados para classificação do microfissuramento e da alteração mineral, com base nos valores médios obtidos para o conjunto de rochas estudadas.

Intensidade do Microfissuramento	**Classe**	**I**	**II**	**III**	**IV**
	Microfissuras/mm^2 (Mi)	< 1,0	1,0 a 2,5	2,6 a 4,0	> 4,0
Área Alterada (Aw)	**Classe**	**A**	**B**		**C**
	%	< 5	5 a 15		> 15

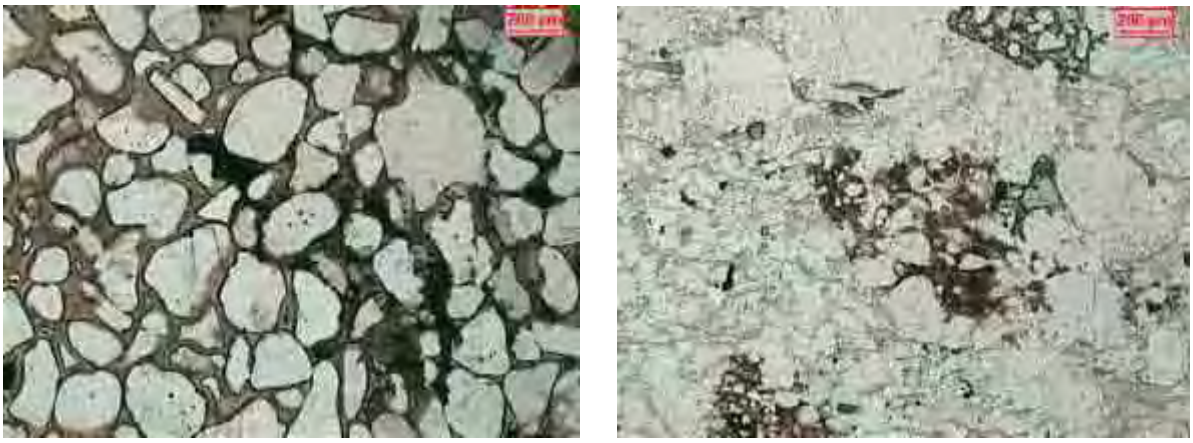


Figura 7.1: Detalhe de óxidos e hidróxidos de ferro presentes no Arenito Silicificado, à esquerda, e no quartzito Imperial Blue, à direita (Polarizadores paralelos).

Figura 7.2: Feições de dissolução para os mármores Cintilante Mesclado, à esquerda, e Extra, à direita (Polarizadores paralelos).

No que se refere à alteração mineral o conjunto de rochas estudado se distribui de forma homogênea nas três classes adotadas. As rochas carbonáticas e quartzosas estudadas apresentaram menos de 5% de área alterada (classe A), algo esperado por sua natureza mineralógica, sendo que as quartzosas são as menos afetadas no conjunto estudado.

As rochas mais afetadas pela alteração mineral (classe C) entre as feldspáticas são os sienitos MCF e MCD. Entre as quartzo-feldspáticas são as rochas AZS, RI, VB e VCB (Figura 7.3), provavelmente pelo fato das amostras serem provenientes de matacões. Nesses casos a alteração de natureza intempérica afeta, sobretudo, o plagioclásio e em menor proporção os feldspatos potássicos.

O padrão de distribuição da alteração é bastante variado, ora como disseminado ora como manchas que se concentram nas bordas ou no centro dos cristais ou ainda afetando mais intensamente os planos de fissuras e clivagens, conforme exemplos selecionados na Figura 7.4.

Tabela 7.2: Síntese dos dados de microfissuramento e alteração mineral para as rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas estudadas.

rocha	plano	Aw *	Mi	Mc	CV_c	classe **	granulação	classificação
CM (Cintilante Mesclado)	**xy**	5,88	2,20	339,4	0,55	**III (A)**	fina a média-fina	**dolomita mármore com diopsídio**
	yz	4,72	3,09	340,7	0,56			
	xz	2,99	2,65	382,8	0,55			
	média	**4,53**	**2,64**	**354,3**	**0,55**			
EX (Extra)	**xy**	4,85	2,64	419,5	0,62	**III (A)**	média-fina a média	**dolomita mármore**
	yz	4,16	2,51	396,9	0,59			
	xz	3,07	2,44	484,3	0,60			
	média	**4,03**	**2,53**	**433,6**	**0,60**			
AS (Arenito Silicificado)	**xy**	3,19	1,76	154,1	0,38	**II (A)**	muito fina a fina	**arenito silicificado**
	yz	2,72	2,01	186,0	0,42			
	xz	4,32	2,69	181,7	0,39			
	média	**3,41**	**2,16**	**173,9**	**0,39**			
IB (Imperial Blue)	**xy**	0,33	1,09	136,7	0,53	**II (A)**	fina a média-fina	**dumortierita-muscovita quartzito com cianita**
	yz	0,66	1,39	158,2	0,63			
	xz	0,77	1,17	177,4	0,61			
	média	**0,59**	**1,22**	**157,5**	**0,59**			
QOP (Quartzito Ouro Preto)	**xy**	1,39	0,57	111,0	0,58	**I (A)**	fina a muito fina	**muscovita-cianita quartzito**
	yz	1,56	0,71	83,5	0,43			
	xz	2,15	1,13	108,6	0,53			
	média	**1,76**	**0,80**	**101,1**	**0,52**			
MCF (Marrom Café Imperial)	**xy**	18,74	5,76	466,3	0,81	**IV (C)**	inequigranular média a média-grosso	**aegerina-augita ortoclásio sienito**
	yz	11,44	3,76	406,6	0,72			
	xz	24,44	4,35	287,2	0,62			
	média	**18,21**	**4,62**	**386,7**	**0,73**			
MCD (Marrom Caldas)	**xy**	28,69	3,55	399,1	0,67	**III (C)**	inequigranular média	**aegerina augita-ortoclásio sienito com quartzo**
	yz	21,70	1,97	496,4	0,69			
	xz	18,50	4,34	443,6	0,59			
	média	**22,96**	**3,29**	**446,4**	**0,65**			
PA (Preto Apiaí)	**xy**	3,62	4,45	419,4	0,67	**III (A)**	inequigranular média-fina	**gabronorito**
	yz	5,68	2,79	447,0	0,65			
	xz	4,47	3,72	473,9	0,93			
	média	**4,59**	**3,66**	**446,7**	**0,75**			
PP (Preto Piracaia)	**xy**	6,39	0,77	181,6	0,50	**I (B)**	inequigranular média-fina (variando de média a fina)	**monzonito**
	yz	5,94	0,67	190,0	0,48			
	xz	5,99	1,31	225,3	0,54			
	média	**6,10**	**0,91**	**198,8**	**0,51**			

Aw = alteração mineral em %; Mi = intensidade de microfissuras/mm^2; Mc = comprimento médio de microfissuras (μm); CV_c = coeficiente de variação do comprimento

* Para as rochas carbonáticas refere-se à dissolução.

** Classes de intensidade de microfissuramento e alteração mineral (entre parênteses) conforme Tabela 7.1.

Analisando os dados das Tabelas 7.2 e 7.3 nota-se que para a maioria das rochas, especialmente aquelas com foliação mais definida, o plano da foliação (*xy*) é o mais afetado pela alteração mineral. Em alguns casos o plano *xz* é o mais afetado, como nas três rochas quartzosas estudadas e nas amostras MCF, JR, RI e VCD.

Tabela 7.3: Síntese dos dados de microfissuramento e alteração mineral para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas.

rocha	plano	Aw	Mi	Mc	CV_c	classe *	granulação	classificação
AF (Azul Fantástico)	**xy**	8,15	1,12	579,1	0,83	**II (B)**	porfirítica com matriz média a grossa	**biotita monzogranito megaporfirítico gnaissificado**
	yz	14,95	0,98	638,2	0,65			
	xz	12,77	1,25	519,9	0,75			
	média	**11,95**	**1,11**	**579,1**	**0,74**			
AZS (Azul Sucuru)	**xy**	22,86	1,45	450,2	1,22	**II (C)**	porfirítica com matriz fina	**microsienogranito porfirítico**
	yz	14,93	1,36	420,5	1,05			
	xz	11,54	1,88	418,5	0,74			
	média	**16,44**	**1,56**	**429,7**	**1,01**			
JR (Jacarandá Rosado)	**xy**	9,07	2,02	573,1	0,59	**II (B)**	inequigranular média	**migmatito sienogranítico**
	yz	9,59	1,94	646,7	0,60			
	xz	13,08	2,41	431,5	0,50			
	média	**10,63**	**2,12**	**550,5**	**0,56**			
KA (Kashimir)	**xy**	9,66	2,47	529,6	0,62	**II (B)**	inequigranular média a fina	**granada gnaisse sienogranítico**
	yz	9,00	2,06	572,7	0,52			
	xz	6,49	2,31	675,2	0,77			
	média	**8,38**	**2,28**	**592,5**	**0,64**			
PSG (Preto São Gabriel)	**xy**	1,67	2,79	368,2	0,53	**III (A)**	inequigranular média-fina a média	**enderbito**
	yz	2,81	2,10	363,6	0,62			
	xz	1,12	2,69	434,1	0,57			
	média	**1,87**	**2,53**	**388,6**	**0,57**			
RI (Rosa Itupeva)	**xy**	22,59	0,76	577,9	0,72	**I (C)**	equi- a inequigranular média-grossa a média-fina	**biotita sienogranito**
	yz	18,49	0,47	700,9	0,83			
	xz	24,50	1,00	675,1	0,86			
	média	**21,86**	**0,74**	**651,3**	**0,81**			
VB (Vermelho Bragança)	**xy**	28,62	5,52	342,2	0,67	**IV (C)**	porfirítica com matriz fina a média	**monzogranito porfirítico**
	yz	26,17	4,81	332,0	0,58			
	xz	13,99	4,70	299,6	0,68			
	média	**22,93**	**5,01**	**324,8**	**0,65**			
VCB (Vermelho Capão Bonito)	**xy**	25,31	4,84	627,3	0,67	**III (C)**	inequigranular média a média-fina	**sienogranito**
	yz	36,30	2,48	498,2	0,68			
	xz	16,21	3,72	565,8	0,78			
	média	**28,94**	**3,68**	**563,8**	**0,71**			
VCM (Verde Camacho)	**xy**	4,59	1,67	535,4	0,60	**II (A)**	inequigranular média grossa a fina	**migmatito charnockítico nebulítico**
	yz	3,79	1,59	483,9	0,63			
	xz	2,17	1,92	502,9	0,44			
	média	**3,52**	**1,73**	**507,4**	**0,56**			
VCD (Verde Candeias)	**xy**	10,26	2,89	557,7	0,77	**II (B)**	inequigranular média localmente grossa	**migmatito enderbítico nebulítico**
	yz	10,68	2,12	556,2	0,62			
	xz	13,70	2,23	661,1	0,73			
	média	**11,54**	**2,42**	**591,7**	**0,71**			
VM (Verde Maritaca)	**xy**	3,60	3,44	434,2	0,54	**III (A)**	inequigranular média a média-fina	**migmatito charnockítico nebulítico**
	yz	4,82	3,03	568,1	1,08			
	xz	4,14	3,21	462,8	0,53			
	média	**4,19**	**3,23**	**488,4**	**0,72**			
VV (Verde Veneciano)	**xy**	0,91	2,94	699,5	0,87	**II (A)**	porfirítica média a média-grossa	**gnaisse charno-enderbítico com granada**
	yz	1,27	1,94	778,6	0,77			
	xz	1,40	1,96	752,0	0,62			
	média	**1,19**	**2,28**	**743,4**	**0,75**			

Aw = alteração mineral em %; Mi = intensidade de microfissuras/mm^2; Mc = comprimento médio de microfissuras (μm); CV_c = coeficiente de variação do comprimento

* Classes de intensidade de microfissuramento e alteração mineral (entre parênteses) conforme Tabela 7.1.

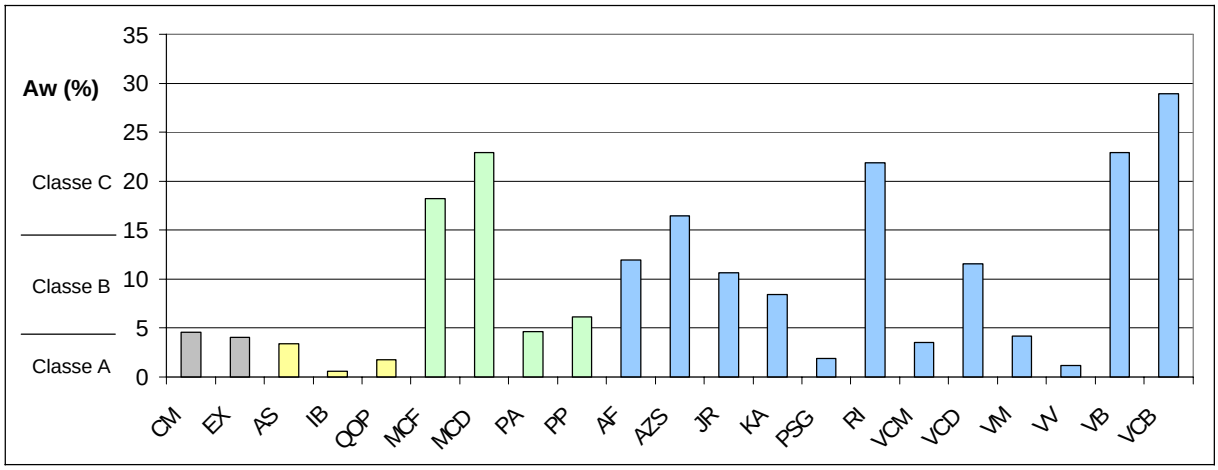


Figura 7.3: Histograma de porcentagem de área alterada para as rochas estudadas (média para três seções). Cinza: carbonática; amarelo: quartzosa; verde: feldspática; azul: quartzo-feldspática.

No caso das rochas quartzosas supõe-se que a variabilidade natural, bastante acentuada no que se refere ao intemperismo, explique esse comportamento. Entretanto para os demais casos deve-se considerar que o plano basal do feldspato potássico, cuja clivagem é perfeita, apresenta certo paralelismo com o plano *xz*, o que explicaria pelo menos em parte essa feição.

Nas rochas estudadas o comprimento médio das microfissuras (Mc) variou entre 100 µm e 740 µm, com a maior parte das rochas apresentando valores entre 400 µm e 600 µm (Tabelas 7.2 e 7.3; Figura 7.5). Ressalta-se, entretanto que os coeficientes de variação para o comprimento das fissuras (CV_c), parâmetro estatístico que corresponde à razão entre o desvio padrão e a média, são extremamente elevados. Na maior parte dos casos situam-se entre 0,6 e 0,8, ou seja, geralmente variam de 60% a 80% da média.

As rochas com granulação fina a média-fina geralmente exibem CV_c da ordem de 0,6, enquanto as de granulação média-fina a média exibem CV_c entre 0,6 e 0,8 (Tabela 7.4). Rochas com granulação muito variável, especialmente as porfiríticas (AF, AZS, VB, VV) têm $CV_c > 0,75$ (Tabela 7.4), e VCM, com $CV_c = 0,56$ representa uma exceção ao conjunto. Não se observa uma relação direta entre a variabilidade do comprimento e granulação, mas de forma generalizada pode-se considerar que as rochas com granulação mais fina e equigranulares apresentam menor variabilidade do comprimento das microfissuras.

Constata-se ainda baixa correlação direta entre o CV_c e o comprimento médio das microfissuras (Figura 7.6) e a área alterada (Figura 7.7). Há, portanto, uma tendência de maior microfissuramento e alteração quanto maior a variabilidade do comprimento das fissuras.

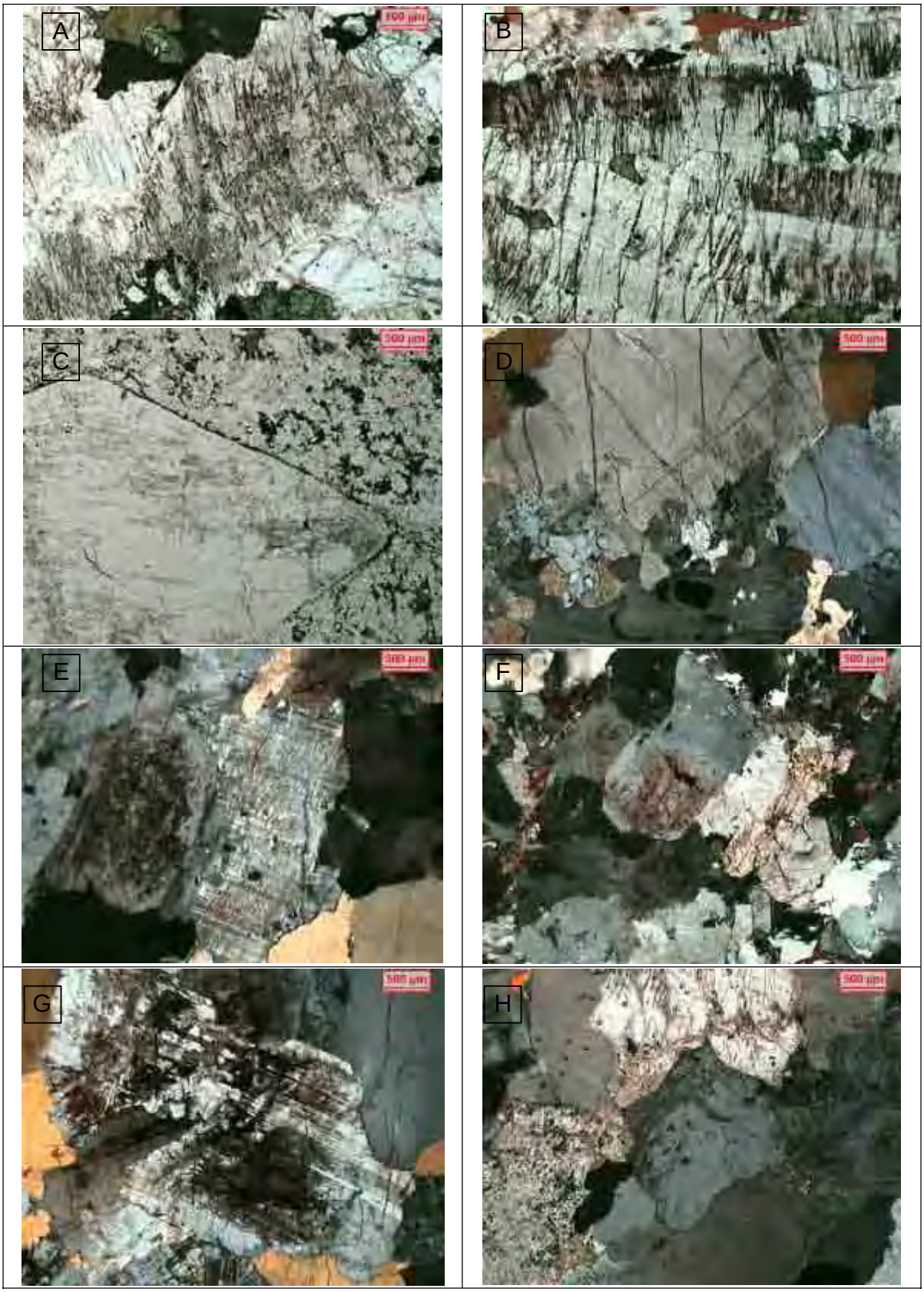


Figura 7.4: Detalhe da alteração de feldspatos nas rochas Marrom Caldas (A), Marrom Café Imperial (B), Azul Sucuru, (C), Kashimir (D); Rosa Itupeva (E), Vermelho Bragança Paulista (F), Vermelho Capão Bonito (G) e Verde Candeias (H). A, B e C com polarizadores paralelos; D, E, F, G e H com polarizadores cruzados.

As rochas com baixo microfissuramento (classes de intensidade I e II) exibem preferencialmente granulação fina a média-fina (exceto RI e VV), enquanto as da classe intermediária (III) têm granulação média-fina a média. As rochas MCF (granulação média a média-grossa) e VB (porfirítica com matriz fina a média), são as mais microfissuradas, embora não tenham os maiores comprimentos médios (Tabela 7.4 e Figura 7.5).

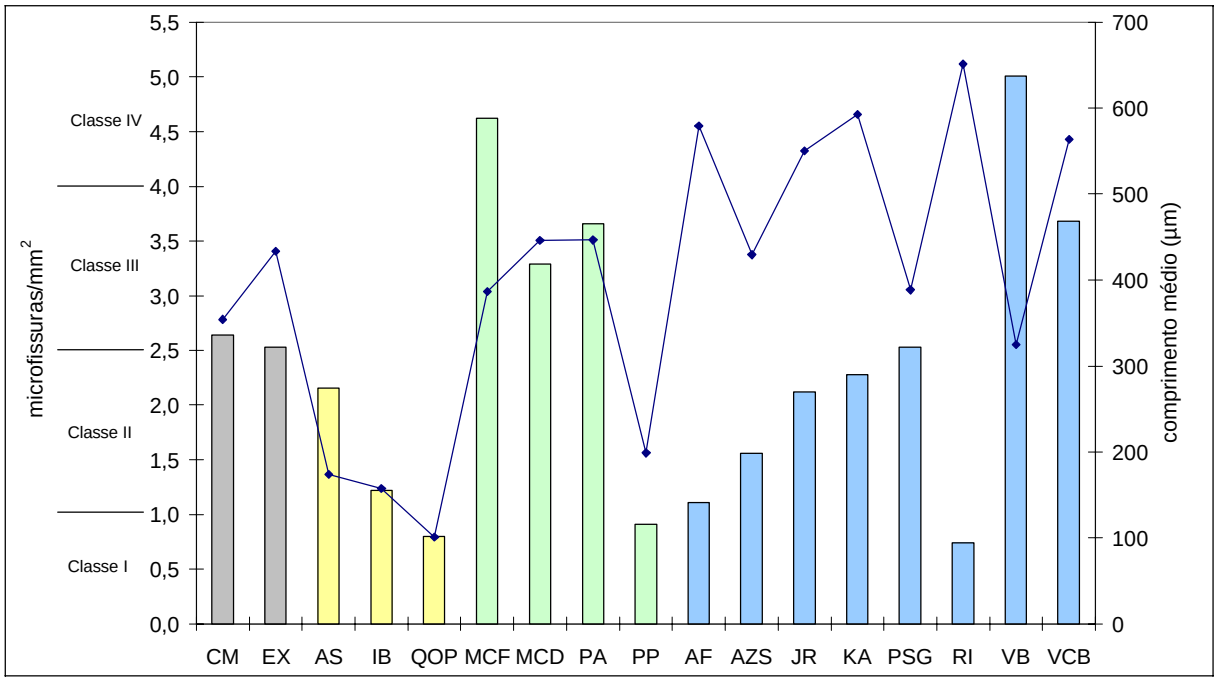


Figura 7.5: Intensidade de microfissuras (barras) e comprimento médio de microfissuras (linha) das rochas estudadas. (média de três seções delgadas). Cinza: carbonática; amarelo: quartzosa; verde: feldspática; azul: quartzo-feldspática.

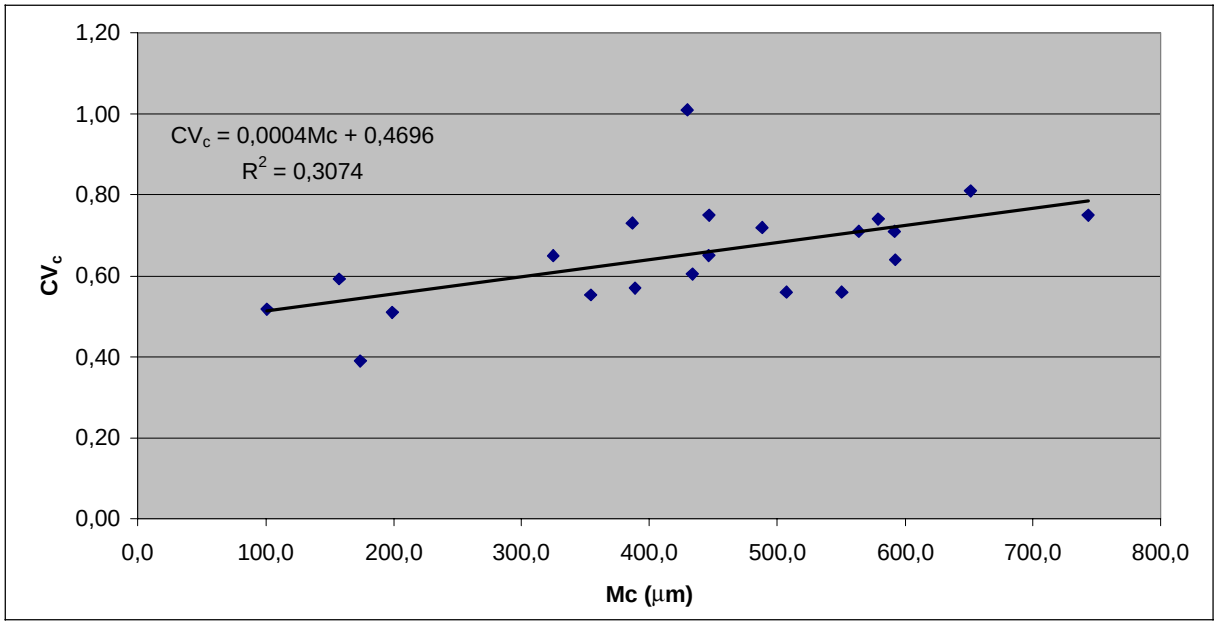


Figura 7.6: Correlação entre o coeficiente de variação do comprimento (CV_c) e o comprimento médio de microfissuras (Mc) para as rochas estudadas.

Tabela 7.4: Comparação entre classes de intensidade de microfissuramento, alteração e granulação média para as rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas.

	rocha	classe *	CV_c	fina	média-fina	média	média-grossa	grossa
Carbonáticas	CM	III (A)	0,55	———	———			
	EX	III (A)	0,60		———	———		
Quartzosas	AS	II (A)	0,39	———				
	IB	II (A)	0,59	———	———			
	QOP	I (A)	0,52	———				
Feldspáticas	MCF	IV (C)	0,73			———	———	
	MCD	III (C)	0,65			———		
	PA	III (A)	0,75		———			
	PP	I (B)	0,51	———	———			
Quartzo-feldspáticas	AF	II (B)	0,74			———	———	———
	AZS	II (C)	1,01	———	———	———		
	JR	II (B)	0,56			———		
	KA	II (B)	0,64	———	———			
	PSG	III (A)	0,57		———	———		
	RI	I (C)	0,81		———	———	———	
	VB	IV (C)	0,65	———	———	———		
	VCB	III (C)	0,71		———	———		
	VCM	II (A)	0,56	———	———	———	———	
	VCD	II (B)	0,71			———		
	VM	III (A)	0,72		———	———		
	VV	II (A)	0,75			———	———	

* Classes de intensidade de microfissuramento e alteração mineral (entre parênteses) conforme Tabela 7.1.
CV_c: coeficiente de variação do comprimento do microfissuramento; Classes de granulação: fina <1mm; média-fina 1mm a 3mm; média 3mm a 7mm; média-grossa: 7mm a 10mm; grossa >10mm.

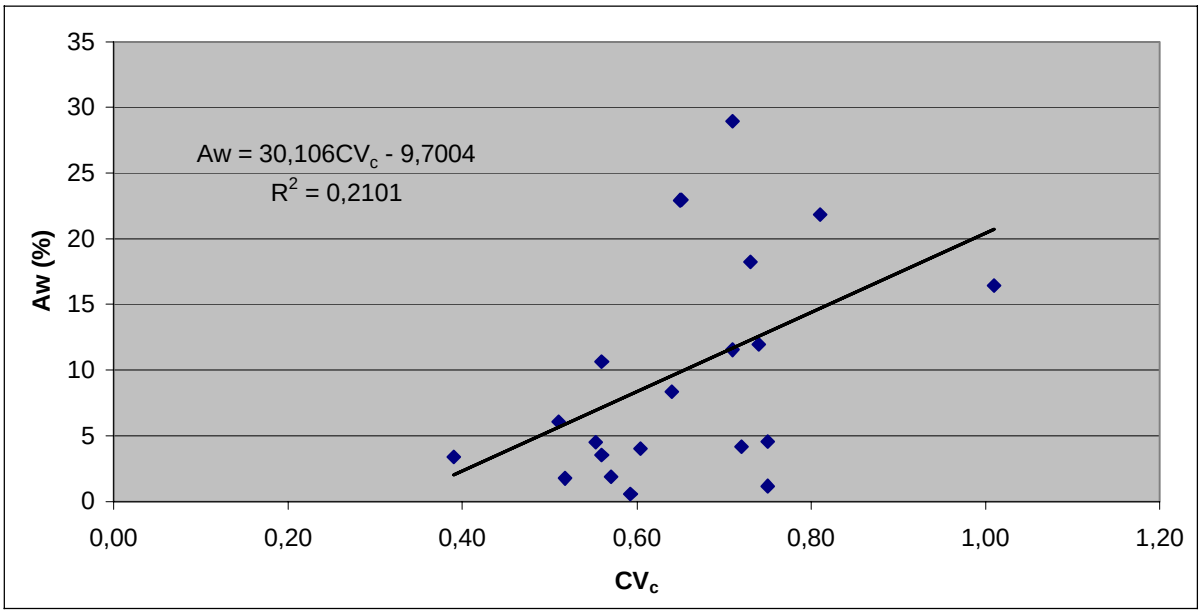


Figura 7.7: Relação entre porcentagem de área alterada (Aw) e coeficiente de variação do comprimento médio de microfissuras (CV_c) para as rochas estudadas.

Os dados mostram pequena e discreta relação entre granulação, intensidade e comprimento médio do microfissuramento. Rochas com granulação fina como, por exemplo, as quartzosas, PP, VCM e PSG, tendem apresentar menor intensidade de microfissuras e planos mais curtos do que as rochas com granulação mais grossa (RI, VCB, MCD e MCF) ou porfiríticas (AF, AZS, VB e VV).

A análise integrada dos dados de alteração e microfissuramento (Figura 7.8) levando em conta a granulação (Tabela 7.4), mostra que as rochas quartzosas são as de menor granulação e as menos afetadas pela alteração e microfissuramento. As rochas carbonáticas, no limiar entre as classes II e III de intensidade de fissuras apresentam comprimento médio típico para o conjunto estudado e baixo grau de alteração. No conjunto das feldspáticas os sienitos, com granulação média a média grossa, apresentam microfissuramento e alteração elevados, ao passo que PA e PP, respectivamente com alteração abaixo e acima de 5%, exibem microfissuramento bastante diferente. O microfissuramento menor de PP é devido ao seu conteúdo em biotita, cerca de 20% em volume, praticamente ausente em PA.

Entre as quartzo-feldspáticas quatro amostras (AZS, RI, VB e VCB) exibem as mais elevadas porcentagens de alteração mineral do conjunto, devido à proveniência de matacões. Contudo cada qual exibe microfissuramento distinto, que parece não estar relacionado à granulação. Ainda nesse conjunto PSG, VCM, VM e VV destacam-se pela baixa alteração e microfissuramento moderado (classes II a III). O tipo VV destaca-se por alto comprimento médio em relação às demais rochas, devido à sua textura porfírítica e granulação maior.

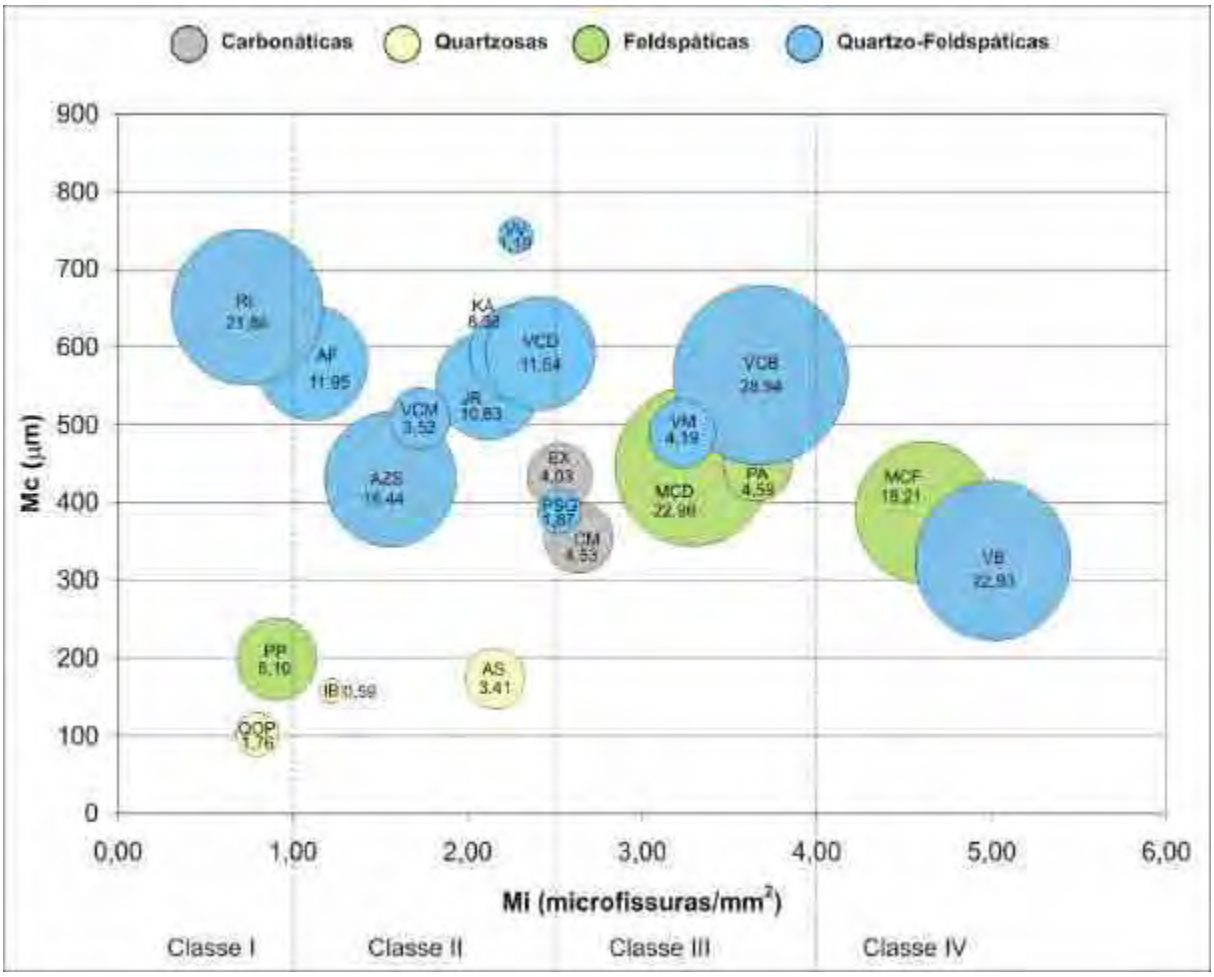


Figura 7.8: Relação entre comprimento médio de microfissuras (Mc) e intensidade de microfissuras (Mi) para as rochas estudadas. A dimensão das esferas representa a área alterada (valor em porcentagem). Amostras hachuradas são provenientes de matacões.

A relação entre o microfissuramento e a composição modal foi avaliada estatisticamente por análise de regressão linear (Figura 7.9), pela qual constatou-se que no conjunto estudado a intensidade de microfissuramento decresce com o aumento das porcentagens de quartzo e micas, ao passo que o total dos feldspatos (especialmente o potássico) contribui para o aumento do microfissuramento. Isso ocorre por que o quartzo frequentemente está recristalizado e os feldspatos apresentam no máximo extinção ondulante como feição de deformação.

Analogamente, a correlação entre a porcentagem mineral e porcentagem de área alterada mostrou (Figura 7.10), como esperado, alta correlação direta entre porcentagem de feldspatos e área alterada (R^2=0,39), ao passo que o quartzo e a mica mostraram correlação indireta baixa (R^2=0,05 e 0,14, respectivamente). Deve-se considerar que as rochas constituídas essencialmente por plagioclásio e praticamente sãs como PA e PP, e de outras com proporção menor desse mineral, mas também pouco afetadas pelo intemperismo (PSG, VCD, VCM e VV) distorcem a correlação entre porcentagem de plagioclásio e área alterada.

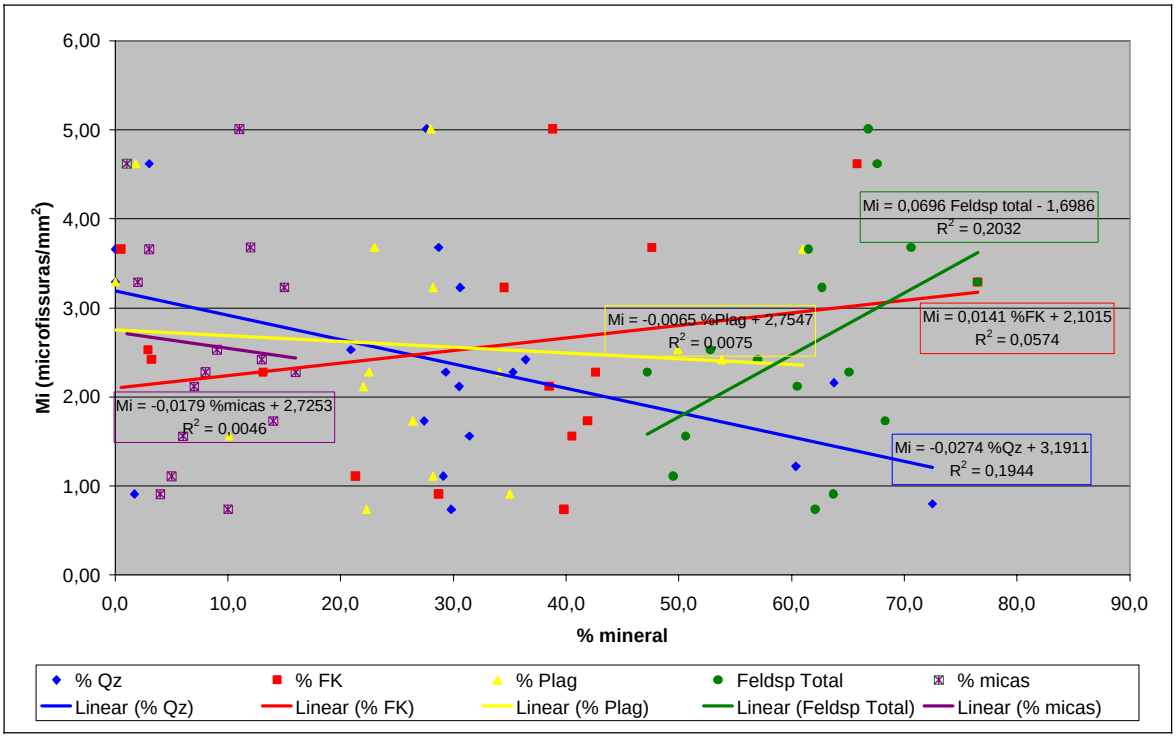


Figura 7.9: Gráfico de regressão linear para dados de porcentagem mineral e intensidade de microfissuras (Mi). (As rochas carbonáticas não foram consideradas).

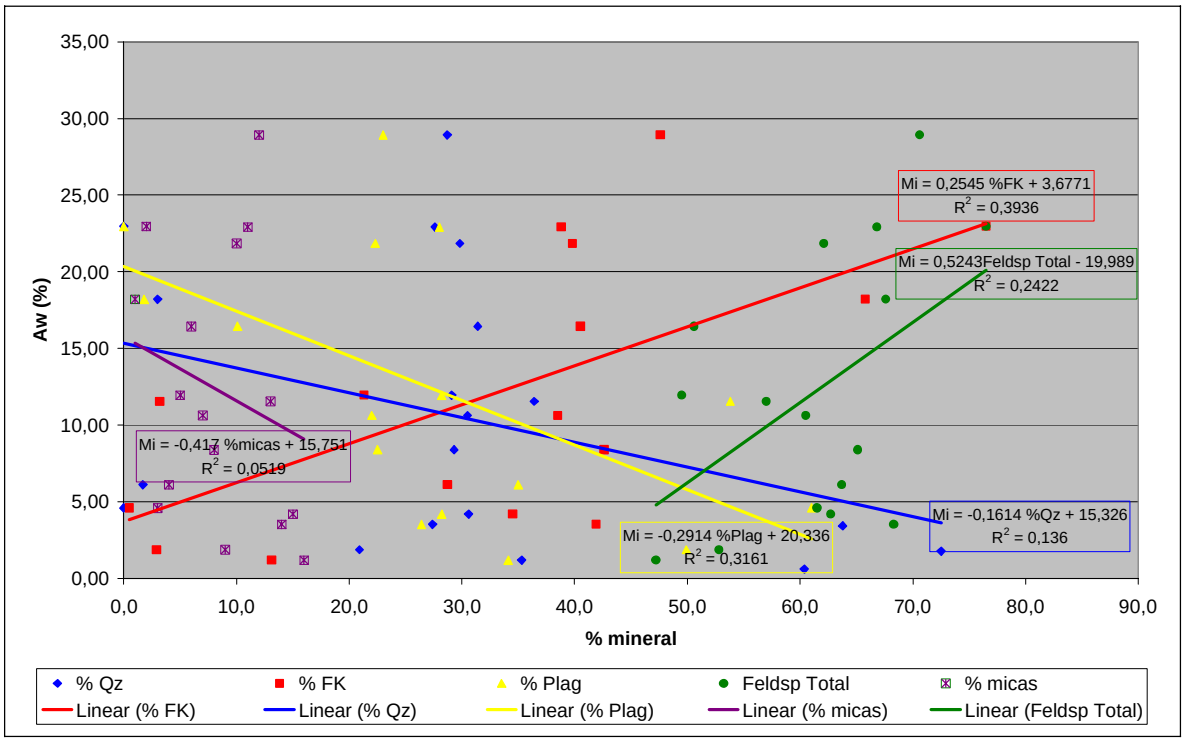


Figura 7.10: Gráfico de regressão linear para dados de porcentagem mineral e porcentagem de área alterada (Aw). (As rochas carbonáticas não foram consideradas).

O estudo da orientação preferencial do microfissuramento feito com platina universal nas três seções consideradas para cada rocha resultou em blocos diagramas que representam a distribuição espacial dos principais sistemas de microfissuras relativa ao sistema *xyz* adotado.

As duas rochas carbonáticas estudadas exibiram distribuição do microfissuramento diferentes (Figura 7.11), embora sejam provenientes da mesma jazida e, portanto, sujeitas à condições geológicas evolutivas semelhantes. A amostra CM, com foliação ligeiramente mais pronunciada que EX, exibe uma família de microfissuras paralela ao plano *xz* e duas outras em alto ângulo com os planos *xy* e *yz*. A amostra EX apresenta uma família subparalela ao plano *xz* e duas subparalelas ao plano *xy*.

As rochas quartzosas têm padrões de distribuição bastante distintos (Figura 7.11). O tipo AS exibe padrão não ortogonal, devido à sua natureza sedimentar. O tipo IB, rocha metamórfica que preserva acamamento textural (sedimentar), exibe um sistema subparalelo ao plano *xy*, e dois outros ortogonais a esse. O quartzito QOP exibe padrão ortogonal marcado por três famílias de microfissuras, sendo duas paralelas aos planos *xy* e *yz* (uma feição típica de rochas com foliação bem desenvolvida) e a terceira subparalela ao plano *xz*.

As rochas quartzosas e carbonáticas apresentam baixa intensidade de microfissuras e comprimento médio pequeno. Assim deve-se considerar que a identificação de orientações preferenciais mensuráveis das microfissuras pode não representar um parâmetro importante para possíveis variações das propriedades da rocha.

Os sienitos MCF e MCD não apresentam famílias paralelas ao plano de foliação, embora essa característica seja mais evidente em MCD (Figura 7.11). A disposição dos cristais tabulares de feldspatos orientados paralelamente ao eixo *x* nessas amostras (Capítulo 8) favorece a ocorrência de sistemas de microfissuras paralelos e subparalelos aos planos *yz* e *xz* em detrimento do plano *xy*, aproveitando o contato mineral dos cristais tabulares de feldspato para seu desenvolvimento. Por essa razão a amostra MCD (com foliação de fluxo convoluta) apresenta uma família subparalela ao plano *xy* e MCF (com foliação de fluxo planar) não. Há, portanto, para esta última, uma descontinuidade planar definida pelo hábito tabular dos feldspatos e pela disposição imposta pelo fluxo planar (plano *xy*), o qual se relaciona ortogonalmente com os demais sistemas identificados.

A rocha PA apresenta uma família subparalela à foliação (plano *xy*) e uma subparalela ao plano *yz*, as quais correspondem, grosso modo, aos planos denominados no jargão mineiro como “corrida” e “trincante”, embora essa rocha apresente estrutura isotrópica. O monzonito PP apresenta três sistemas principais; um em baixo ângulo com o plano de foliação (*xy*), um paralelo ao plano *yz* e outro aproximadamente paralelo à bissetriz desses dois planos. Em

ambos os casos os planos azuis da Figura 7.11, correspondem grosso modo ao sistema de microfissuras disposto paralelamente ao plano basal (001) do plagioclásio presente.

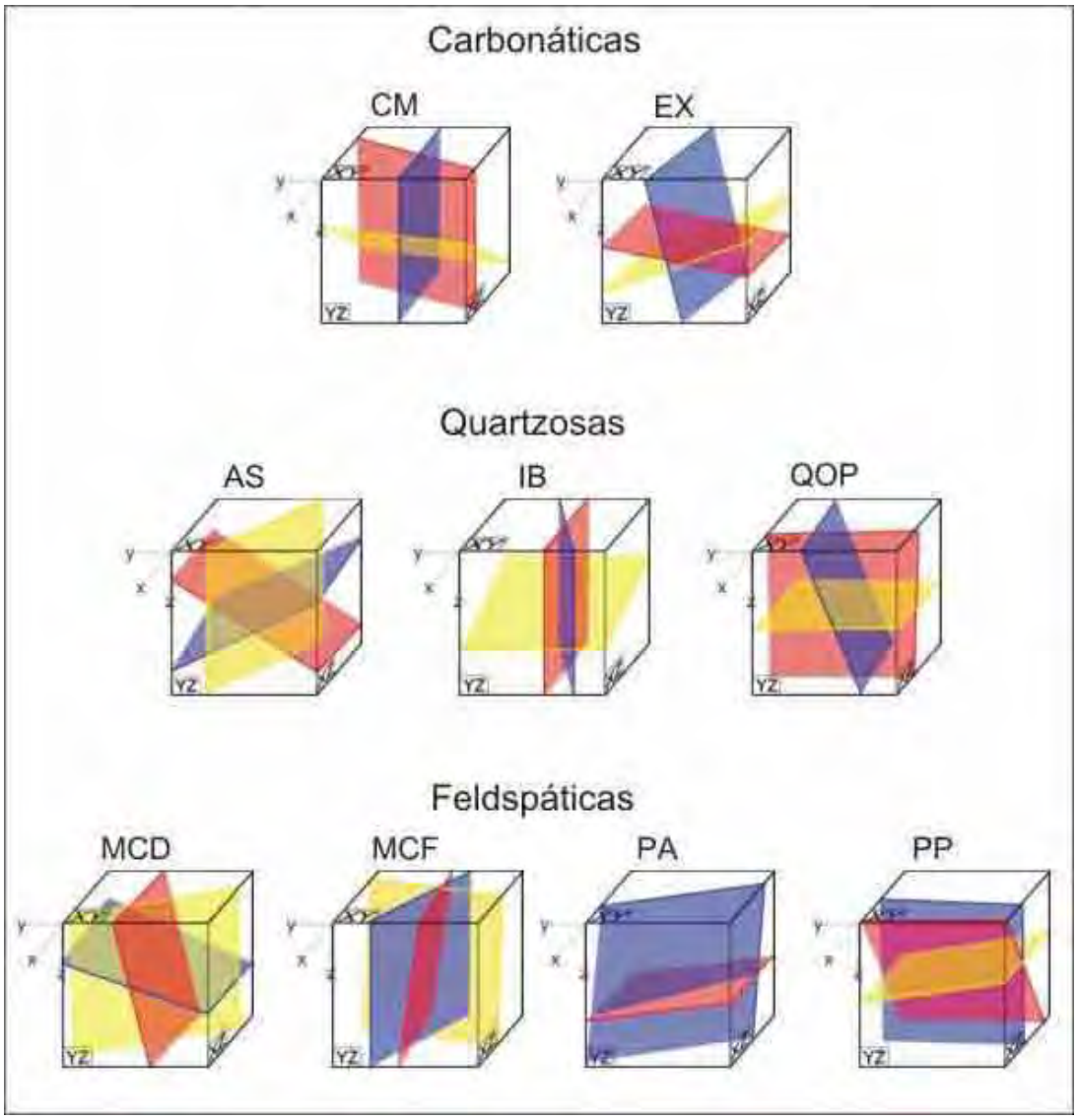


Figura 7.11: Blocos-diagramas da distribuição espacial relativa ao sistema *xyz* das principais famílias de microfissuras das rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas estudadas.

Os padrões de distribuição observados nas rochas quartzo-feldspáticas são os mais complexos do conjunto analisado (Figura 7.12), o que se deve em primeira instância ao caráter poliminerálico dessas rochas, uma vez que cada fase mineral apresenta uma competência distinta aos esforços suportados durante a evolução geológica. De maneira geral quanto menos evidente a foliação maior a quantidade de famílias, as quais se relacionam no espaço de forma não ortogonal entre si (ou não paralela aos planos do sistema de referência adotado) como tende ocorrer nas rochas com foliação melhor desenvolvida (mais penetrativa). Exemplos de rochas quartzo-feldspáticas isotrópicas ou com foliação pouco evidente que

exibem padrões mais complexos são as amostras KA, RI, VB e VCB (Figura 7.11). O tipo PSG exibe padrão ligeiramente ortorrômbico, que está associado à discreta orientação mineral imposta pela foliação.

As rochas porfiríticas estudadas (AF, AZS, VB e VV) apresentam padrões distintos que estão vinculados, sobretudo ao microfissuramento dos megacristais de feldspato potássico. Nesses quatro casos não se observa ortogonalidade entre as famílias e/ou paralelismo destas com os planos de referência adotados. No caso de AZS pode-se atribuir esse padrão ao aspecto equidimensional dos fenocristais de feldspato não exatamente orientados pela foliação a despeito de seu aspecto planar e pouco espaçado (Figura 6.6, página 71). A foliação anastomosada para AF e VV parece ser o fator dominante, embora apresentem fenocristais com tendência tabular (Figuras 6.6 e 6.8, páginas 71 e 73, respectivamente).

Os tipos migmatíticos estudados JR, VCD, VCM e VM não apresentam ortogonalidade dos planos, com exceção para o tipo JR.

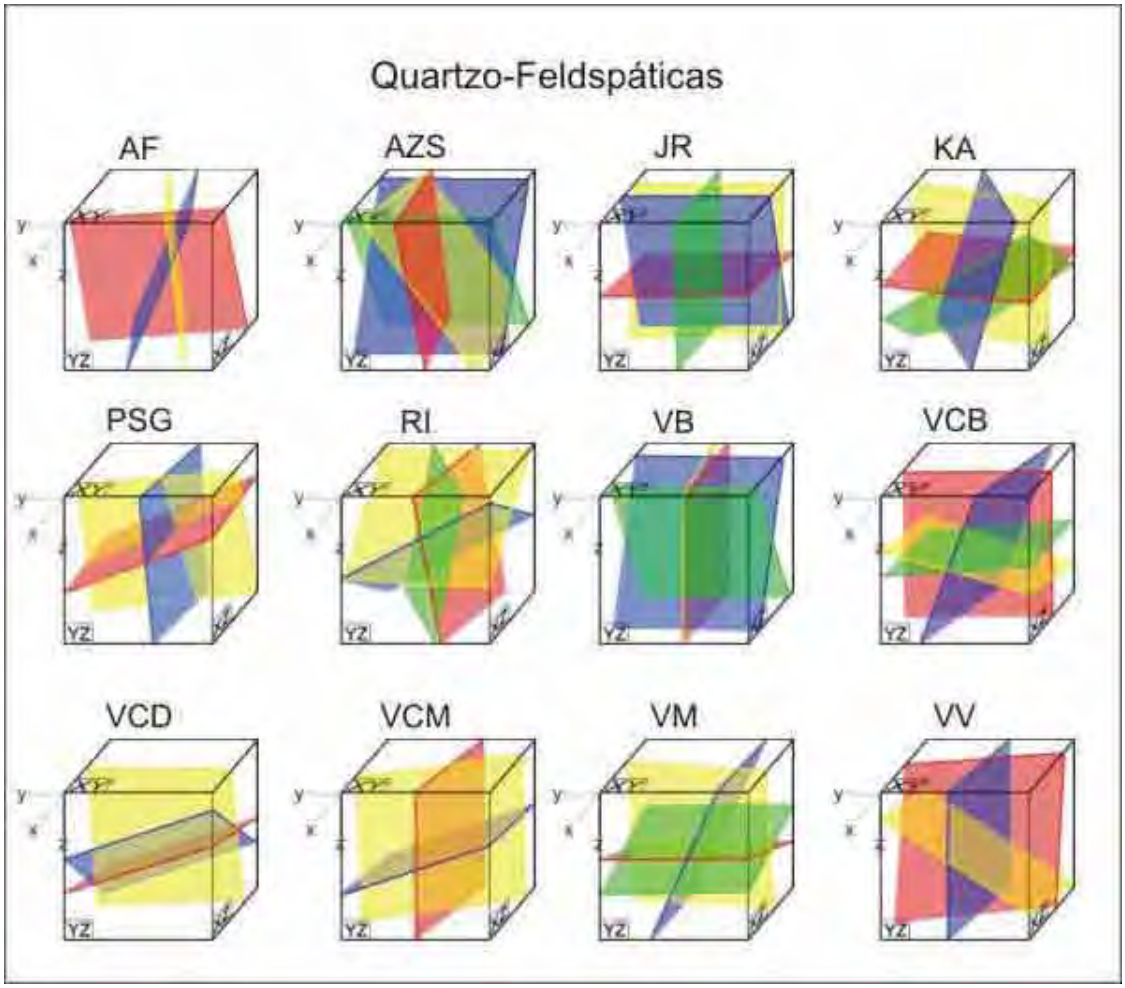


Figura 7.12: Blocos-diagramas da distribuição espacial relativa ao sistema *xyz* das principais famílias de microfissuras das rochas quartzo-feldspáticas estudadas.

CAPÍTULO 8

ORIENTAÇÃO CRISTALOGRÁFICA PREFERENCIAL

Para cada uma das três seções confeccionadas segundo o sistema de referência *xyz* adotado foram obtidos dados de orientação cristalográfica preferencial (OCP), com o auxílio de uma platina universal. Para as rochas quartzosas e quartzo-feldspáticas foram efetuadas medidas da orientação do eixo cristalográfico *c* dos cristais de quartzo e para os mármores considerou-se o eixo *c* da dolomita. No caso das rochas feldspáticas a orientação dos eixos cristalográficos foi estimada a partir da análise das geminações presentes conforme descrito no Capítulo 2 Métodos de Trabalho.

Os dados obtidos com a platina universal foram dispostos em estereogramas de igual área (hemisfério inferior) utilizando-se o programa computacional Stereonet 3.03 ©. Os dados para as rochas feldspáticas foram marcados em imagens obtidas com microscópio petrográfico de luz transmitida, a partir do estudo da orientação da geminação dos feldspatos.

8.1. Rochas Carbonáticas

Os dois mármores estudados não mostraram um padrão claro de orientação cristalográfica da dolomita (Figura 8.1), um reflexo da foliação pouco evidente observada nas amostras de mão. No entanto a amostra EX (Extra) apresentou uma ligeira tendência de paralelismo entre o eixos *c* e a direção *z* (ortogonal à foliação).

8.2. Rochas Quartzosas

As rochas quartzosas apresentam distribuições cristalográficas do eixo *c* do quartzo variadas. Devido à origem sedimentar da amostra AS, não foram obtidos dados de OCP para essa rocha, uma vez que os grãos estão distribuídos aleatoriamente e a anisotropia de maior relevância é o acamamento sedimentar preservado em estratificações plano-paralelas e cruzadas.

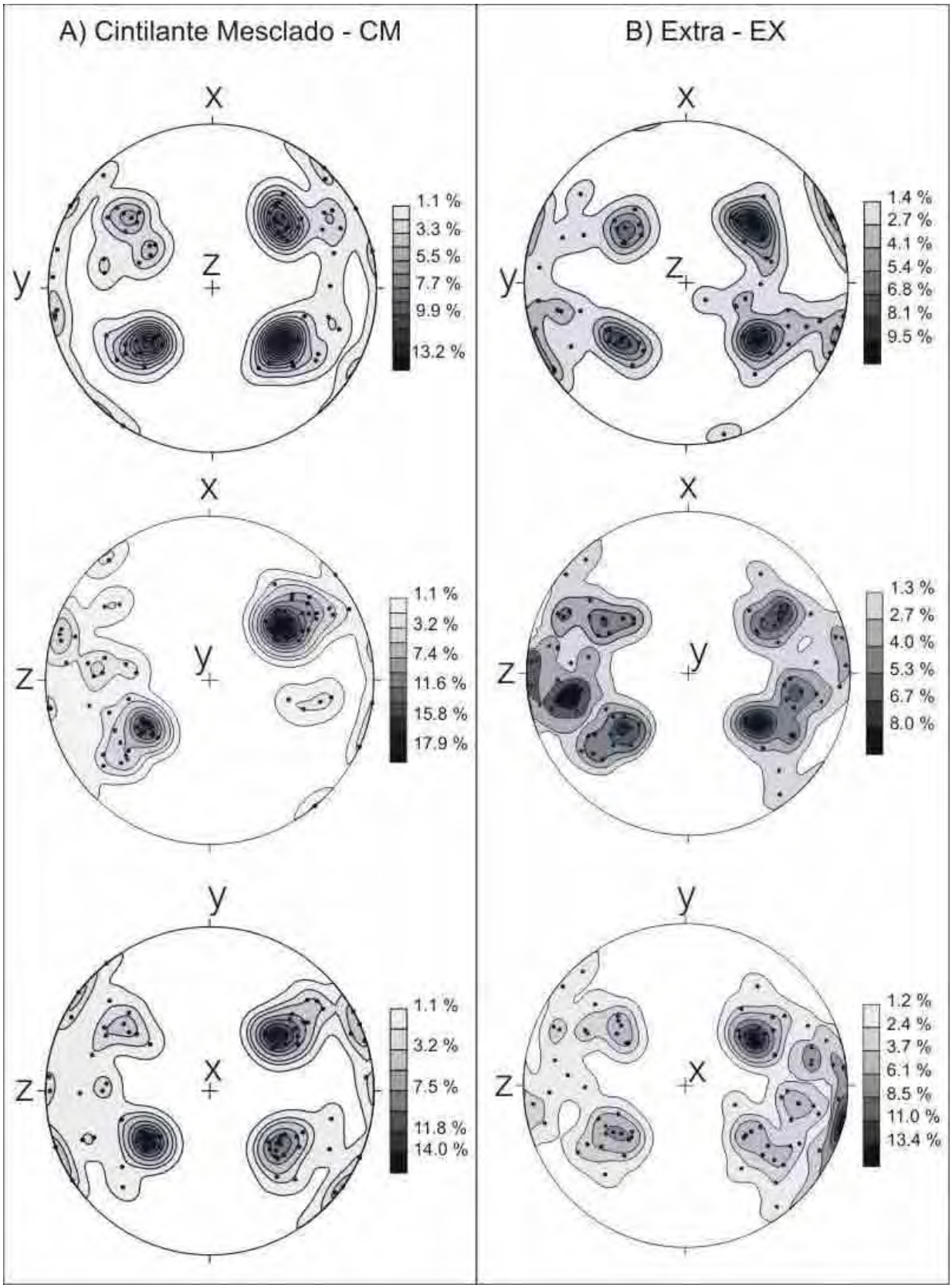


Figura 8.1: Diagramas de pólo de eixos *c* de dolomita para os mármores Cintilante Mesclado (coluna A) e Extra (coluna B). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

O quartzito IB (Imperial Blue**)**, embora apresente foliação nítida marcada pela orientação da mica (Figura 8.2), não mostra orientação preferencial do quartzo (Figura 8.3). Esse padrão pode ser explicado pela presença de grãos de quartzo maiores com extinção ondulante em grau variável (característica que dificulta as medidas e aumenta o erro) e que guardam nítida herança sedimentar (indicativo de baixa ou nenhuma recristalização) e, portanto com orientação cristalográfica aleatória se comparado aos cristais menores, recristalizados durante o metamorfismo da rocha. Desse modo conclui-se que a anisotropia mais importante para essa rocha deve-se ~~a~~os planos de acamamento sedimentar e de foliação metamórfica com alto ângulo entre si (Figura 8.2).

Figura 8.2: Fotomicrografia do quartzito IB evidenciando o acamamento sedimentar (bandamento textural - S_0) e a foliação metamórfica S_1.

O quartzito QOP (Quartzito Ouro Preto) apresenta recristalização bastante intensa e foliação bem definida pela isorientação das micas presentes. Os cristais de quartzo apresentam o eixo *c* com orientações variadas, mas com concentração razoável no setor entre os eixos *x* e *z* dos diagramas obtidos (Figura 8.3).

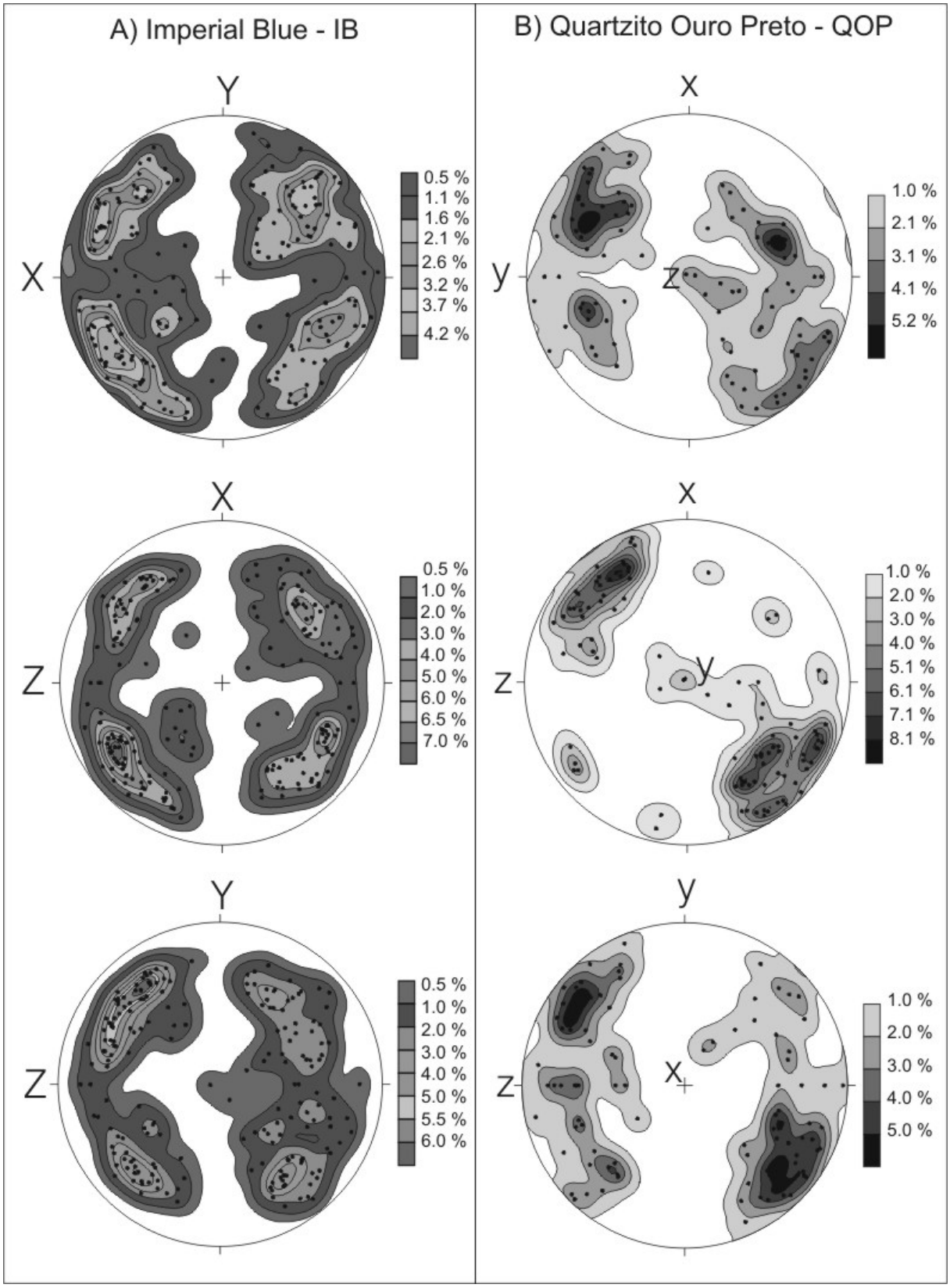


Figura 8.3: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzosas estudadas Imperial Blue (coluna A) e Quartzito Ouro Preto (coluna B). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

8.3. Rochas Feldspáticas

No grupo das rochas feldspáticas, nota-se que os sienitos estudados (MCD e MCF) apresentam claro alinhamento cristalográfico do feldspato potássico presente, como resultado da orientação de fluxo magmático, mais evidente na amostra MCF (Figura 8.4). Os cristais de feldspato potássico estão preferencialmente dispostos com o eixo cristalográfico *b* paralelo ao eixo *z* do sistema adotado.

A rocha PA (Preto Apiaí) praticamente não exibe foliação macroscopicamente visível. Sua orientação é muito difícil de ser observada ou praticamente imperceptível em amostras de mão ou mesmo no campo considerando grandes blocos e em afloramentos. Entretanto em lâmina petrográfica nota-se considerável orientação do plagioclásio especialmente nas seções xz e yz (Figura 8.5A). Já o monzonito PP (Preto Piracaia), exibe foliação mais pronunciada, marcada macroscopicamente pela orientação das lamelas de biotita. Em seção delgada a orientação do plagioclásio mostra-se muito semelhante ao tipo PA, entretanto consideravelmente menor (Figura 8.5B).

8.4. Rochas Quartzo-Feldspáticas

Este conjunto mostrou ampla variação dos padrões de orientação preferencial do eixo *c* de quartzo que está diretamente relacionado com a foliação.

As rochas com foliação mais evidente como AF, AZS (Figura 8.6 A e B), PSG (Figura 8.7 B) e VV (Figura 8.9 C) apresentam orientação do quartzo mais definida que as demais rochas deste conjunto. As rochas migmatíticas estudadas (JR, VCM, VCD e VM) tanto quanto as rochas graníticas (RI, VB e VCB) não apresentam orientação preferencial para os cristais de quartzo (Figuras 8.6C; 8.8A; 8.9A,B; 8.7C; 8.8A,B, respectivamente), o que pode ser resultado da estrutura migmatítica nebulítica e do alto grau de recristalização exibido pelas primeiras e da posição intersticial que o quartzo ocupa nas últimas.

A rocha AF (Figura 8.6 A) mostra eixos *c* de quartzo orientados preferencialmente com os eixos *x* e *y* do sistema adotado, ou seja, estão contidos no plano da foliação, embora ocorra certa dispersão nas medidas. Tal feição é mais marcante na amostra AZS (Figura 8.6 B), que embora mostre foliação bastante penetrativa e persistente, apresenta cristais de quartzo intensamente deformados freqüentemente com forte extinção ondulante. O migmatito JR (Figura 8.6 C), por sua estrutura nebulítica, também não apresenta orientação evidente dos cristais de quartzo.

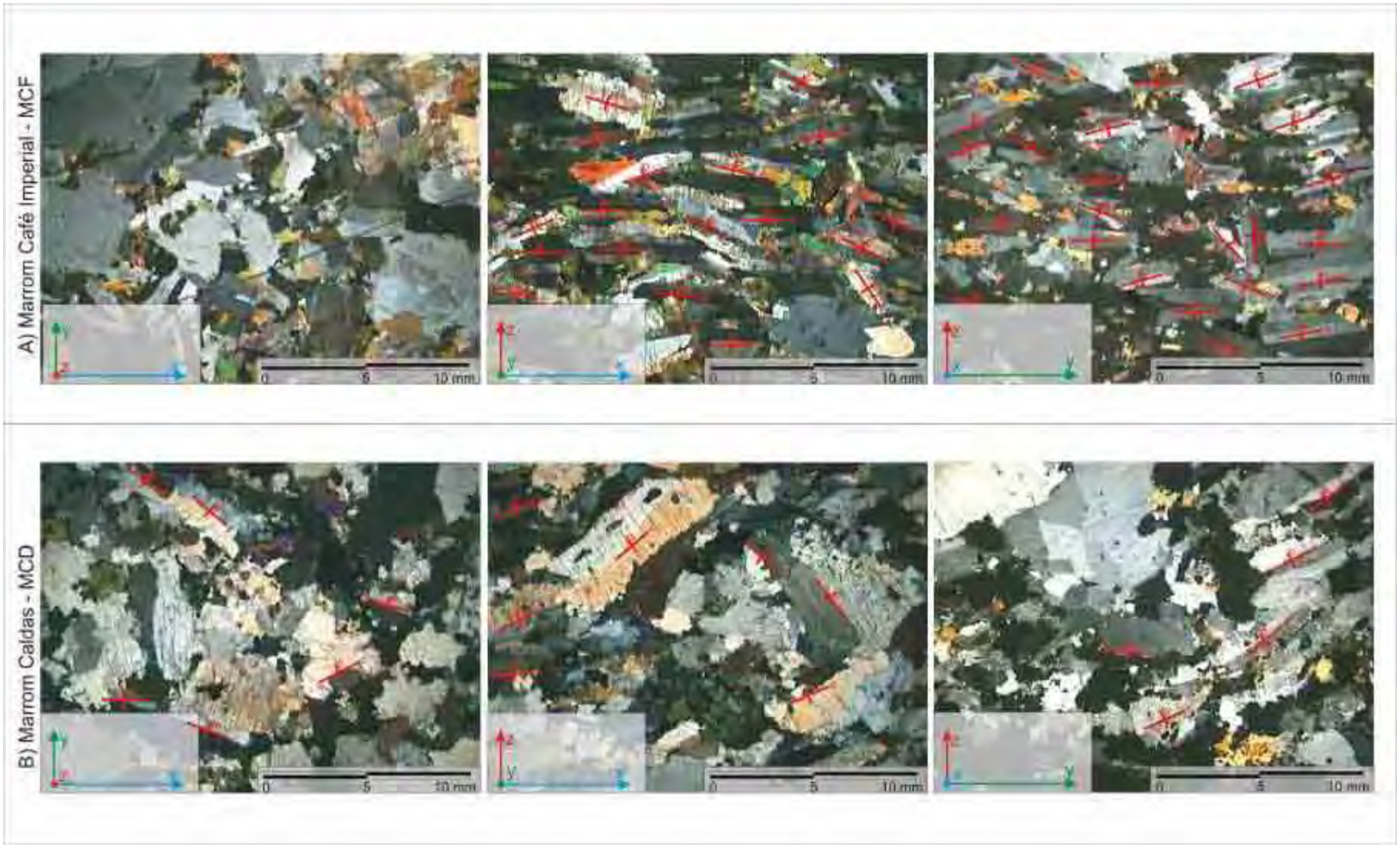


Figura 8.4: Esquema geral da orientação cristalográfica preferencial (OCP) do feldspato potássico para as rochas feldspáticas Marrom Café Imperial (linha A) e Marrom Caldas (linha B).

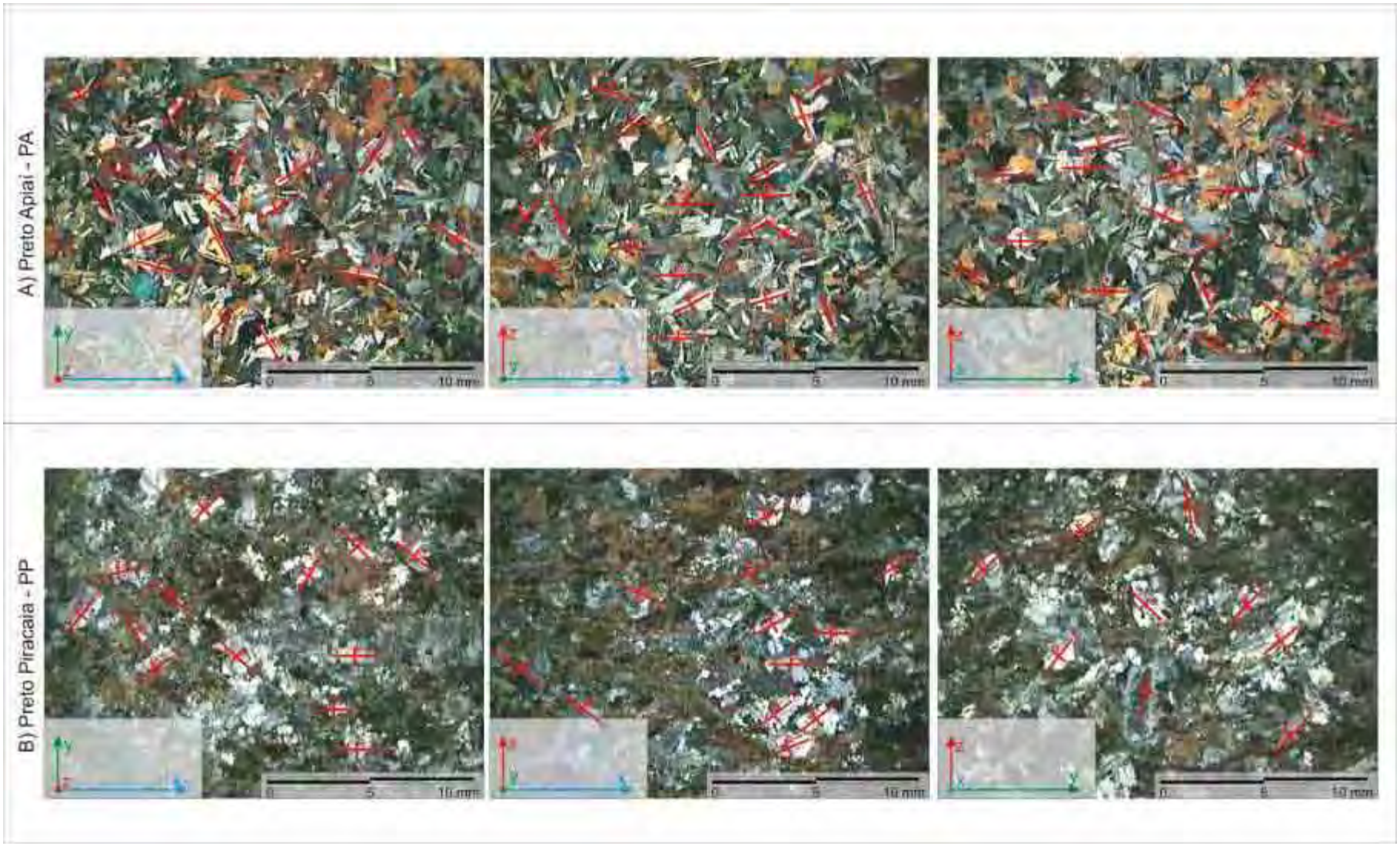


Figura 8.5: Esquema geral da orientação cristalográfica preferencial (OCP) plagioclásio para as rochas feldspáticas Preto Apiaí (linha A) e Preto Piracaia (linha B).

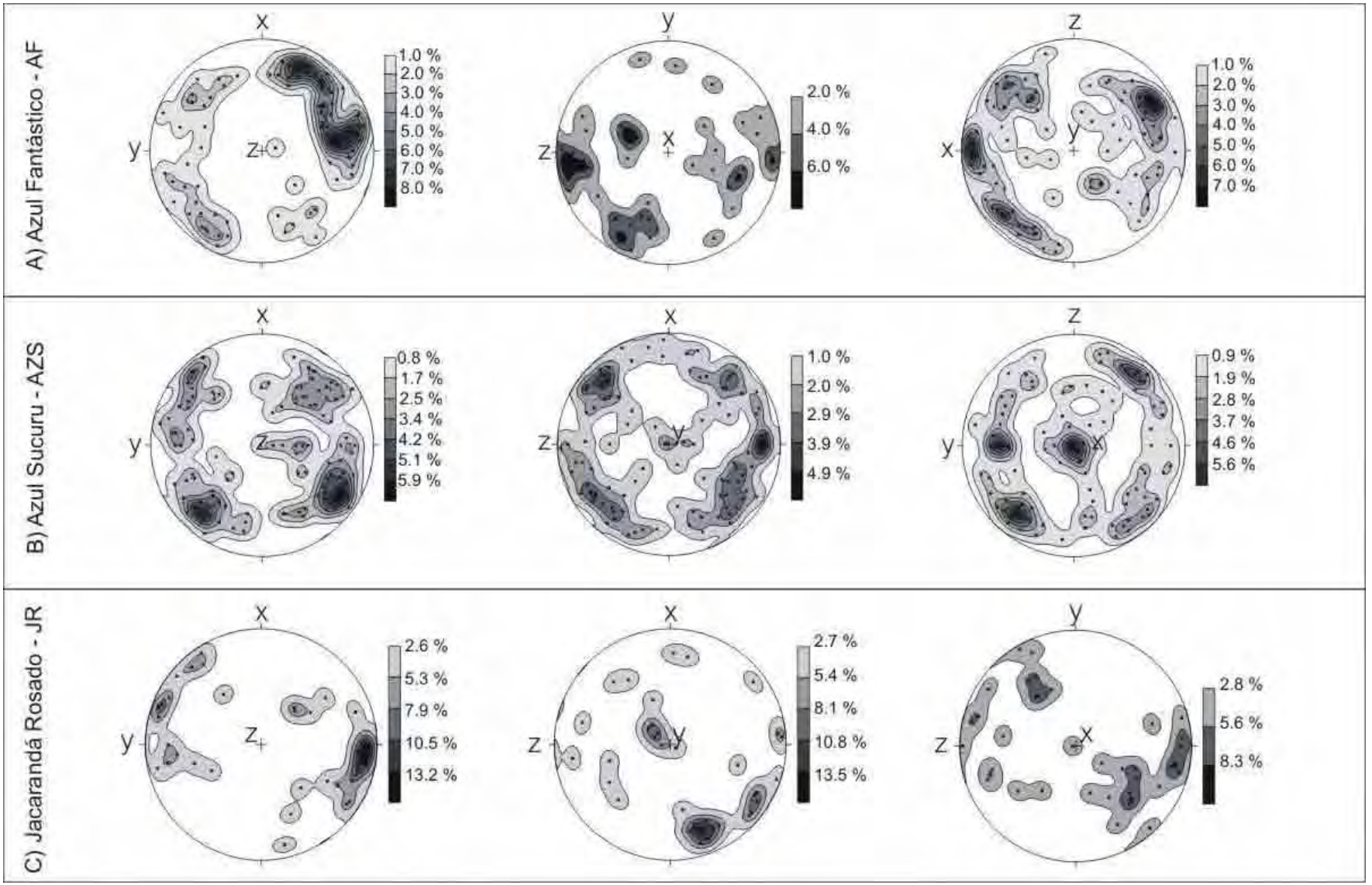


Figura 8.6: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Azul Fantástico (linha A), Azul Sucuru (linha B) e Jacarandá Rosado (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

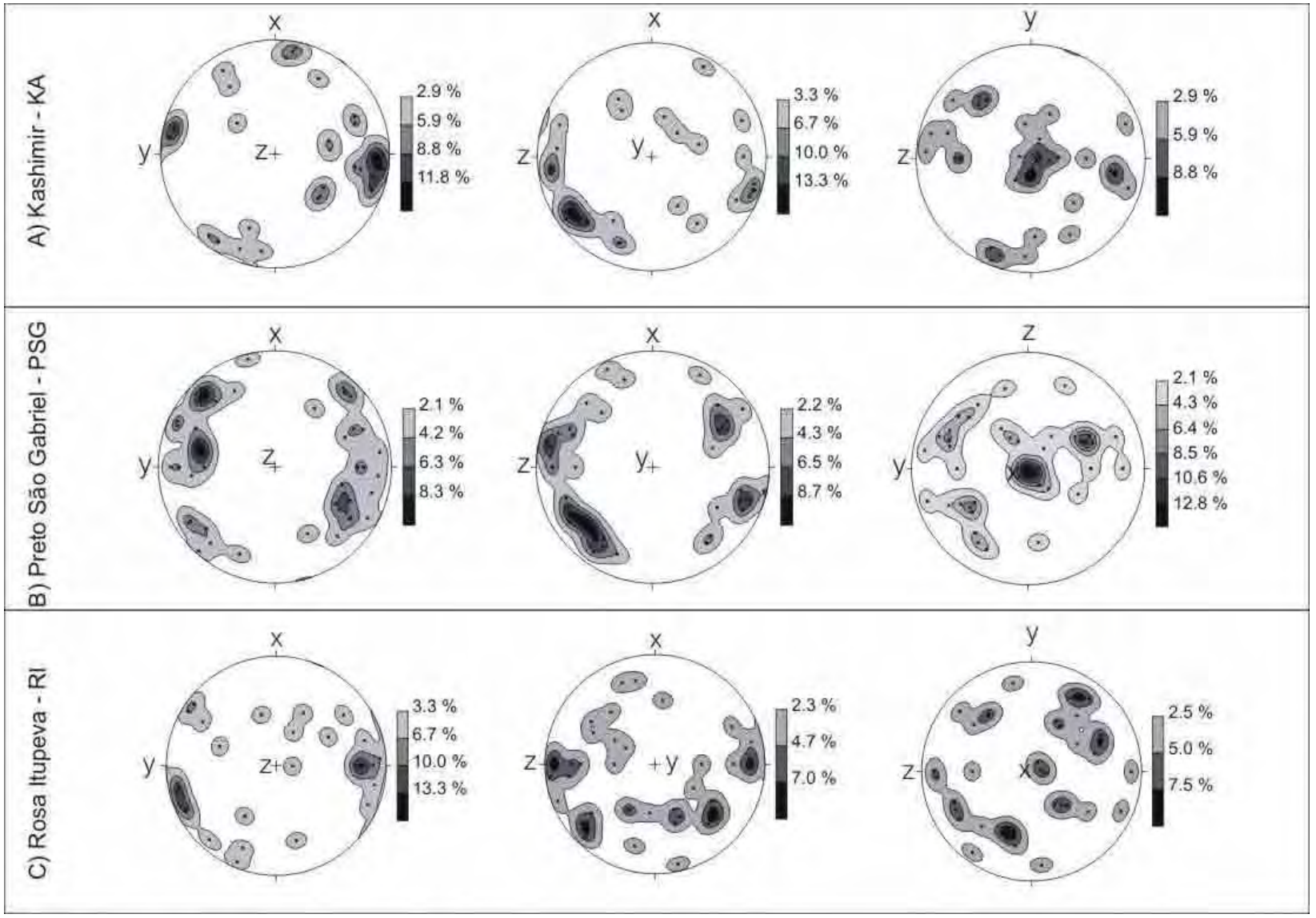


Figura 8.7: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Kashimir (linha A), Preto São Gabriel (linha B) e Rosa Itupeva (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

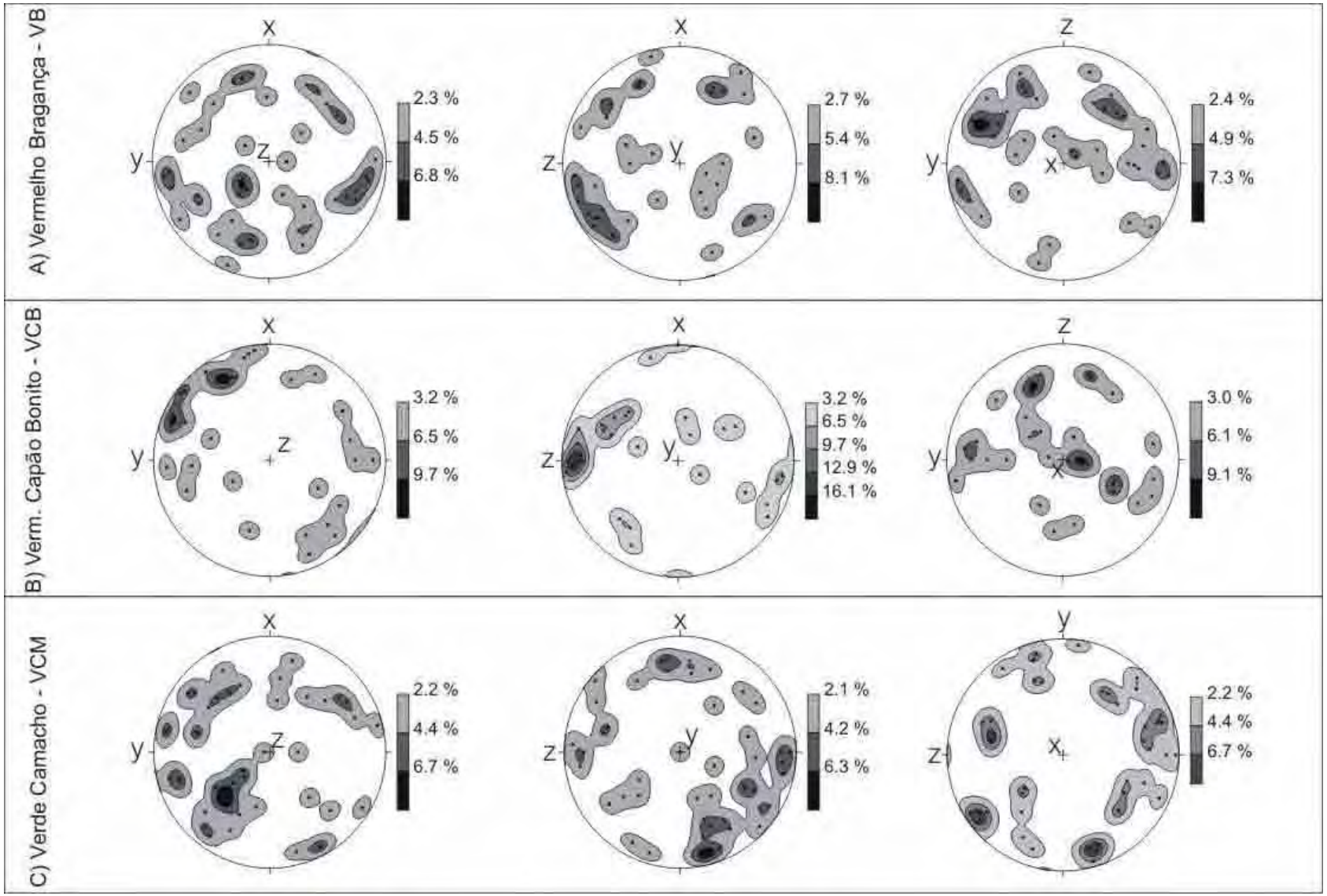


Figura 8.8: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Vermelho Bragança (linha A), Vermelho Capão Bonito (linha B) e Verde Camacho (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

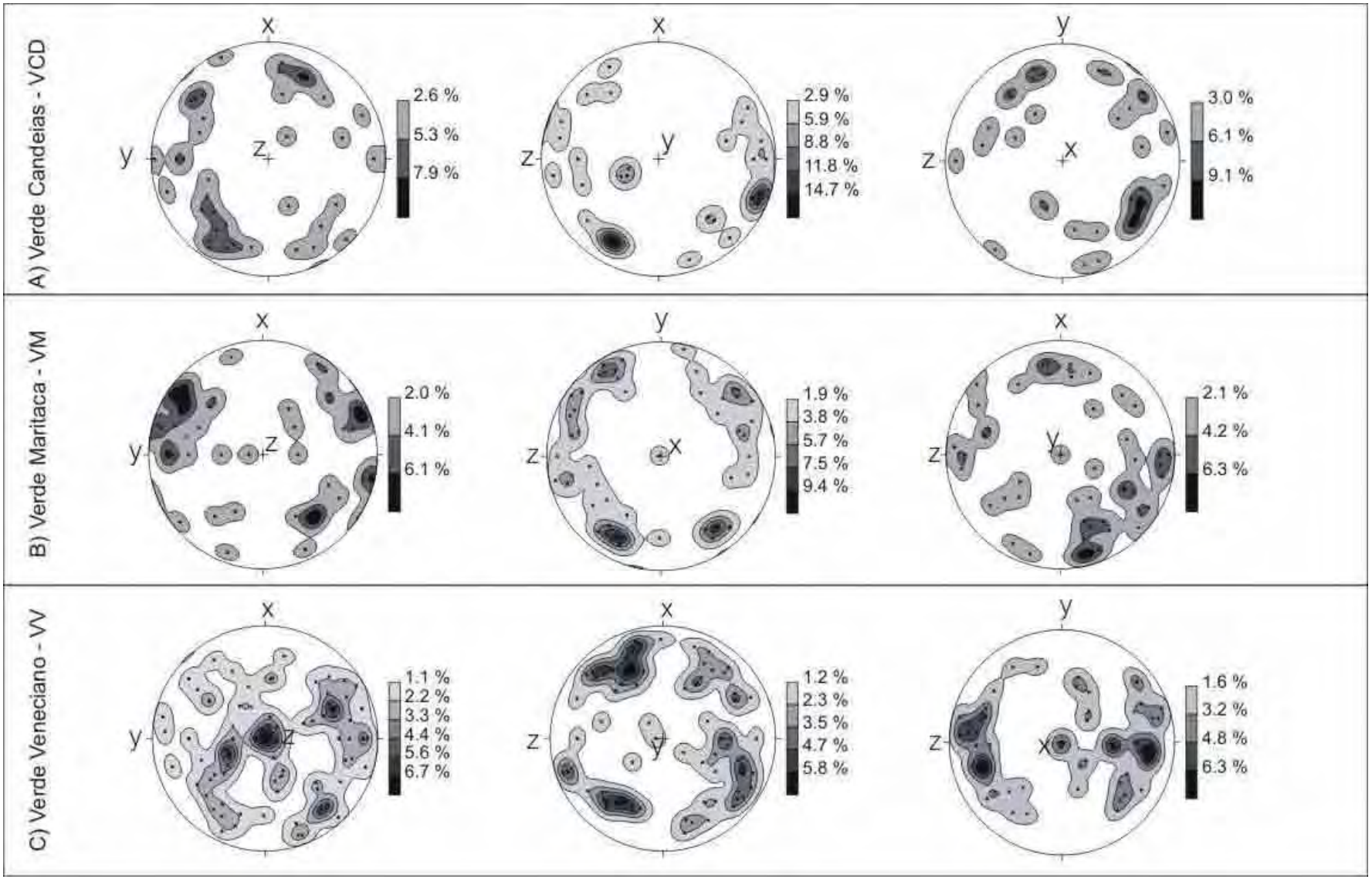


Figura 8.9: Diagramas de pólo de eixos *c* de quartzo para as rochas quartzo-feldspáticas Verde Candeias (linha A), Verde Maritaca (linha B) e Verde Veneciano (linha C). Diagrama de igual-área, projeção no hemisfério inferior.

O tipo KA apresenta foliação macroscópica pouco perceptível, devido ao seu aspecto granoblástico (ausência de minerais micáceos), mas apresenta eixos de quartzo com certo paralelismo aos eixos *x* e *y* (Figura 8.7 A). Deve-se salientar que a ocorrência de cristais com extinção ondulante dificultou as medidas das orientações dessa rocha.

A rocha PSG apresenta orientações com distribuição ampla (Figura 8.7 B), mas nota-se certo predomínio nos eixos *x* e *y*. O RI (Figura 8.7 C) apresenta distribuição aleatória, típica de rochas graníticas sem foliação, devido ao quartzo, em posição intersticial. Por outro lado o feldspato mostra alguma isorientação por fluxo magmático (Figura 8.10). Padrão semelhante de distribuição do eixo *c* de quartzo foi verificado nas rochas VB e VCB (Figuras 8.8 A e B).

Os migmatitos charnockíticos estudados VCM (Figura 8.8 C), VCD e VM (Figuras 8.9 A e B) também mostram ampla dispersão. O gnaisse charnockítico VV (Figura 8.9 C) apresenta orientação preferencial paralela aos eixos *x* e *z*, a despeito de sua foliação anastomosada.

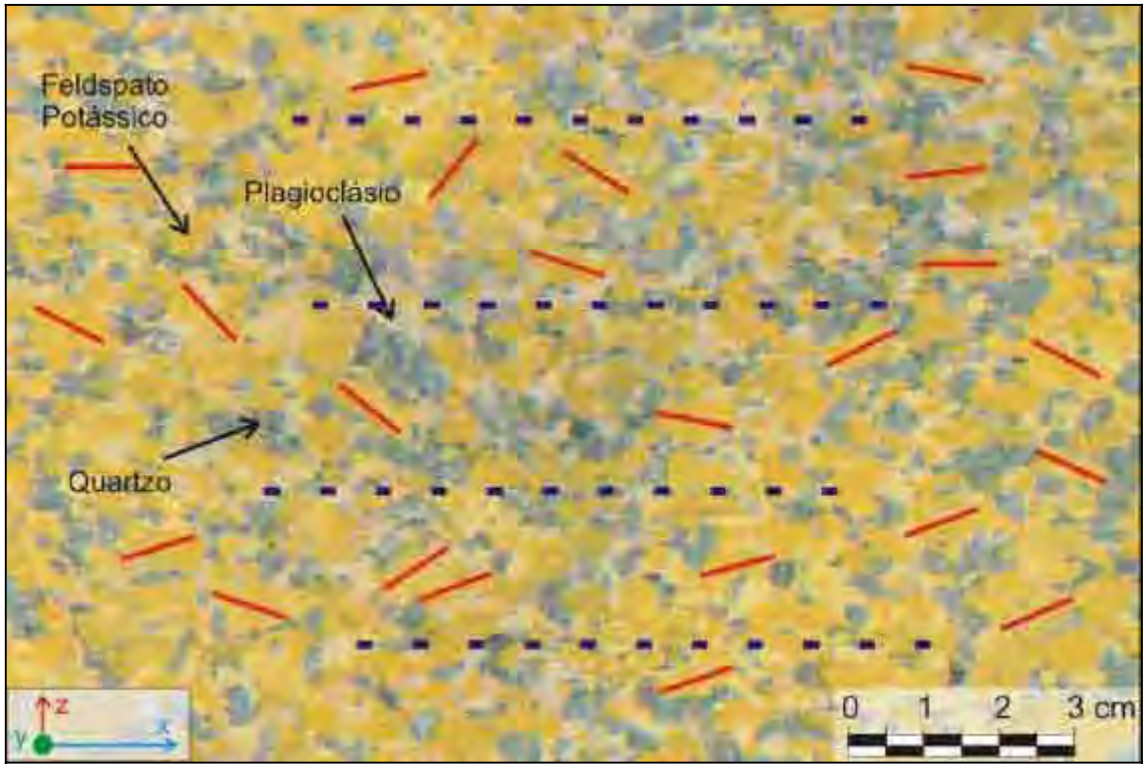


Figura 8.10: Superfície serrada do granito Rosa Itupeva (RI) após ensaio de coloração seletiva de feldspatos. A linha azul marca o sentido geral da foliação de fluxo e as linhas vermelhas marcam a orientação do eixo *c* do feldspato potássico. Notar o quartzo em posição intersticial.

CAPÍTULO 9

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os dados tecnológicos obtidos no conjunto de rochas estudadas referem-se ao coeficiente de dilatação térmica linear e à resistência à compressão uniaxial. Para cada um dos corpos-de-prova submetidos a esses ensaios realizou-se a determinação dos parâmetros porosidade aparente e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp). Esses últimos foram utilizados como medida indireta do microfissuramento e do grau de alteração com significado para cada corpo-de-prova, conforme discutido no Capítulo 10 - Integração dos Dados Petrográficos e Tecnológicos.

Neste Capítulo os dados são apresentados e discutidos comparativamente considerando os grupos litológicos e as amostras que compõe cada um dos quatro conjuntos adotados. As correlações entre propriedades tecnológicas também são consideradas de modo a fornecer subsídios para a integração com os dados petrográficos, tratada no Capítulo 10.

9.1. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

As rochas selecionadas foram submetidas aos ensaios para determinação do coeficiente de dilatação térmica linear (ß) conforme os procedimentos descritos no Capítulo 2 - Métodos de Trabalho. Para cada rocha foram obtidos três corpos-de-prova cilíndricos orientados paralelamente aos eixos do sistema *xyz* adotado. Em cada um deles obteve-se quatro medidas de velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (duas na condição seca, antes e após o ensaio de dilatação, e duas na condição saturada antes e após o ensaio de dilatação) além da determinação da porosidade aparente (Anexo I, Tabelas 9.1 e 9.2).

Considerando a totalidade das amostras estudadas tem-se que os valores de ß variaram entre 3,26 $x10^{-3}$ mm/mºC e 10,19 $x10^{-3}$ mm/mºC, sendo que os valores médios para os grupos

das rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas foi respectivamente 7,28 x10^{-3} mm/mºC; 9,23 x10^{-3} mm/mºC; 4,56 x10^{-3} mm/mºC e 5,83 x10^{-3} mm/mºC (Figura 9.1).

Os dados obtidos para cada grupo estão em acordo com aqueles apresentados para rochas semelhantes por diversos autores como Rzhevsky; Novik (1971), Schön (1996), Rivas et al. (2000), Lima (2002), Lima; Paraguassú (2004) e Weiss et al. (2004).

Comparando os valores médios para cada rocha estudada nota-se que apenas três casos (MCD, PP e VM) exibem ßmédio < 5,0 x10^{-3} mm/mºC, cinco casos (PSG, CM, QOP, IB e AS) > 7,0 x10^{-3} mm/mºC e os demais casos entre 5,0 x10^{-3} mm/mºC e 7,0 x10^{-3} mm/mºC (Tabelas 9.1, 9.2; Figuras 9.2 e 9.3).

A anisotropia do coeficiente de dilatação térmica linear (Aß) variou amplamente no conjunto estudado, de 2,0% a 45,6%. Foram adotadas três classes de Aß, assim definidas: baixa <15%; média 15% a 30%; e alta >30%.

Tabela 9.1: Dados de velocidade de ondas longitudinais nas condições seca e saturada, antes e após o ensaio de dilatação, coeficiente de dilatação térmica linear e porosidade aparente, para as rochas carbonáticas, feldspáticas e quartzosas estudadas.

Grupo	rocha	eixo	Antes do ensaio		Depois do ensaio		?	ß	$ß_{médio}$	Aß
			Vp seco	Vp saturado	Vp saturado	Vp seco				
carbonáticas	CM	x	4103,7	6284,6	6706,7	3623,8	0,36	5,25	7,56	41,1
		y	3831,5	6209,7	6252,8	3262,3	0,37	8,51		
		z	4550,8	6640,7	6690,3	3766,8	0,36	8,92		
	EX	x	2756,7	5582,0	5798,1	2442,1	0,42	5,12	7,00	45,6
		y	2784,5	5336,9	5639,0	2334,9	0,42	6,47		
		z	2396,5	5077,4	5317,8	2246,8	0,47	9,42		
quartzosas	AS	x	4759,6	4889,6	5055,4	4734,4	2,53	9,98	10,09	2,0
		y	4857,3	4937,4	5076,8	4831,2	1,54	10,19		
		z	4609,3	4731,2	4585,6	4516,2	2,60	10,12		
	IB	x	5434,5	6018,1	6100,0	5604,4	0,22	9,46	9,48	10,8
		y	5527,8	6133,6	5852,9	4763,3	0,18	10,03		
		z	5500,6	6017,4	6450,4	6269,9	0,24	8,95		
	QOP	x	4068,5	5591,0	5701,3	4490,2	0,31	8,75	8,12	16,4
		y	3500,4	5302,4	5179,8	3642,7	0,77	7,31		
		z	4222,1	5168,4	5417,5	2519,0	0,79	8,31		
feldspáticas	MCF	x	4854,8	6142,9	6314,7	4630,8	0,68	5,36	4,99	41,2
		y	4990,6	6238,2	6326,1	4654,4	0,83	6,05		
		z	5232,6	6870,2	6976,7	4736,8	0,72	3,56		
	MCD	x	4570,6	5627,5	5962,9	3914,8	0,88	3,66	3,50	10,8
		y	4321,2	5836,4	5913,2	4200,0	0,83	3,57		
		z	4923,5	6529,0	6576,6	4950,5	0,86	3,26		
	PA	x	6431,7	7095,2	7152,0	6251,7	0,33	4,69	5,39	18,3
		y	6372,3	7019,5	7188,0	6372,3	0,37	5,74		
		z	6414,3	6961,2	7070,9	6323,9	0,46	5,74		
	PP	x	5687,3	6197,2	6240,3	5134,9	0,54	4,57	4,38	11,4
		y	5420,5	5998,7	6079,7	4971,3	0,43	4,51		
		z	4972,4	5806,5	5921,1	4864,9	0,54	4,05		

Vp: velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s); ?: porosidade (%); ß: coeficiente de dilatação térmica linear (x10^{-3} mm/mºC); ßmédio: média de ß dos três eixos; Aß: anisotropia de ß (%).

Tabela 9.2: Dados de velocidade de ondas longitudinais nas condições seca e saturada, antes e após o ensaio de dilatação, coeficiente de dilatação térmica linear e porosidade aparente, para as rochas quartzo-feldspáticas estudadas.

Grupo	rocha	eixo	Antes do ensaio		Depois do ensaio		?	ß	$ß_{médio}$	Aß
			Vp seco	Vp saturado	Vp saturado	Vp seco				
quartzo-feldspáticas	AF	x	4894,5	5705,1	5741,7	4617,0	0,51	6,14	6,63	21,0
		y	5174,6	5928,5	5889,5	5001,1	0,46	7,68		
		z	5408,4	6149,3	6191,7	5250,3	0,51	6,07		
	AZS	x	5428,5	6011,4	6093,2	5495,1	0,31	5,38	5,65	13,1
		y	5487,7	6089,0	6173,6	5420,7	0,18	5,40		
		z	5512,9	6030,9	6071,6	5479,3	0,26	6,19		
	JR	x	4478,6	5422,9	5390,4	4266,4	1,07	5,71	5,41	15,0
		y	4892,4	5626,3	5733,8	4664,2	1,05	5,67		
		z	4481,6	5526,4	5492,7	4132,1	0,93	4,85		
	KA	x	4698,4	5472,0	5373,7	4487,0	0,83	5,01	5,34	16,9
		y	4831,0	5576,5	5542,3	4632,8	0,85	6,02		
		z	4518,0	5284,2	5346,7	4407,8	0,81	5,00		
	PSG	x	5164,4	6071,6	6154,8	5020,1	0,87	7,59	7,26	15,2
		y	5425,9	6004,7	6045,0	5088,7	0,70	7,68		
		z	5308,8	5822,6	6016,7	5070,2	0,64	6,51		
	RI	x	4451,0	5351,8	5351,8	4343,5	0,90	6,20	6,62	20,5
		y	4712,0	5294,1	5625,0	4477,6	1,05	6,04		
		z	4153,9	5240,7	5530,1	4024,1	0,94	7,60		
	VB	x	4153,2	3437,2	3334,9	4271,9	0,90	6,32	5,30	33,2
		y	4591,3	5526,5	5776,1	4544,7	0,90	5,34		
		z	4339,6	5284,1	5477,4	4425,1	0,71	4,22		
	VCB	x	4486,0	5404,8	5826,0	4577,6	0,62	6,27	5,88	11,6
		y	4973,3	5665,8	5775,5	4838,9	0,67	5,82		
		z	4838,1	5676,7	5832,2	4757,0	0,17	5,54		
	VCM	x	5206,4	6045,0	5773,7	5176,4	0,54	5,42	5,17	7,1
		y	4682,3	5618,8	6074,3	4563,5	0,49	5,05		
		z	4876,6	5826,6	5751,9	4903,3	0,37	5,04		
	VCD	x	5422,3	6081,8	6081,8	5056,7	0,66	5,81	5,39	23,3
		y	5625,0	6206,9	6383,0	5521,5	0,28	5,86		
		z	5331,0	6176,6	6219,4	5461,0	0,42	4,49		
	VM	x	5358,9	6083,1	6042,3	5174,1	0,50	4,67	4,82	27,0
		y	5312,4	6149,3	5576,4	4557,4	0,45	5,66		
		z	5192,5	5949,0	6028,9	4908,7	0,59	4,13		
	VV	x	5455,8	6041,6	6384,4	5144,0	0,82	5,94	6,49	23,7
		y	5480,5	6032,2	6374,5	5136,0	0,89	5,85		
		z	5409,6	5947,0	6236,1	5131,4	0,80	7,67		

Vp: velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s); ?: porosidade (%); ß: coeficiente de dilatação térmica linear ($x10^{-3}$ mm/mºC); ßmédio: média de ß dos três eixos; Aß: anisotropia de ß (%).

Os mármores estudados exibem propriedades térmicas bastante semelhantes entre si, com ßmédio típico de rochas carbonáticas e Aß alta, superior a 40%.

As rochas quartzosas apresentaram os maiores valores ßmédio e as mais baixas Aß, com destaque para a amostra AS (Aß = 2%). No conjunto das rochas feldspáticas Aß variou pouco e manteve-se entre 10% e 18% exceto para a rocha MCF com 41,2%. O ßmédio foi igualmente baixo para as quatro amostras (Figuras 9.2 e 9.3).

Nas rochas quartzo-feldspáticas o ßmédio variou em estreita faixa (entre 4,82 x10^{-3} mm/mºC e 7,26 x10^{-3} mm/mºC) com a maioria das rochas exibindo ßmédio = 5,5 x10^{-3} mm/mºC. Por outro lado Aß variou amplamente entre 7,1% e 33, 2% (Figura 9.3).

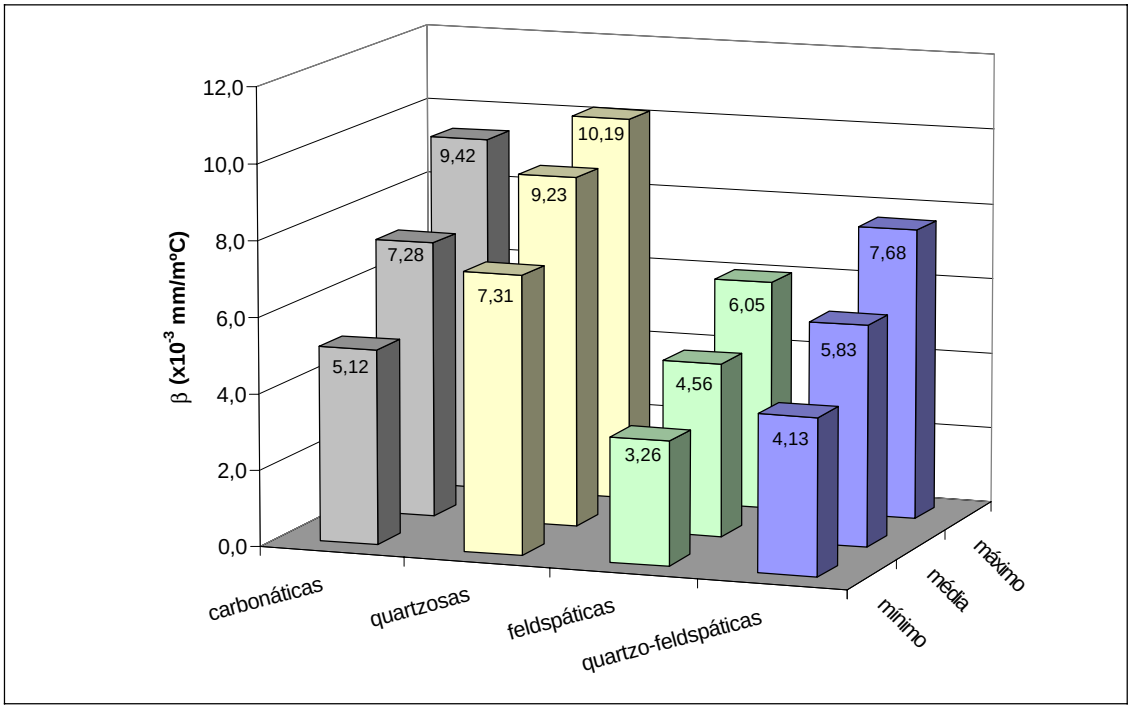


Figura 9.1: Valores de coeficiente de dilatação térmica linear (ß) máximo, médio e mínimo para os grupos litológicos estudados.

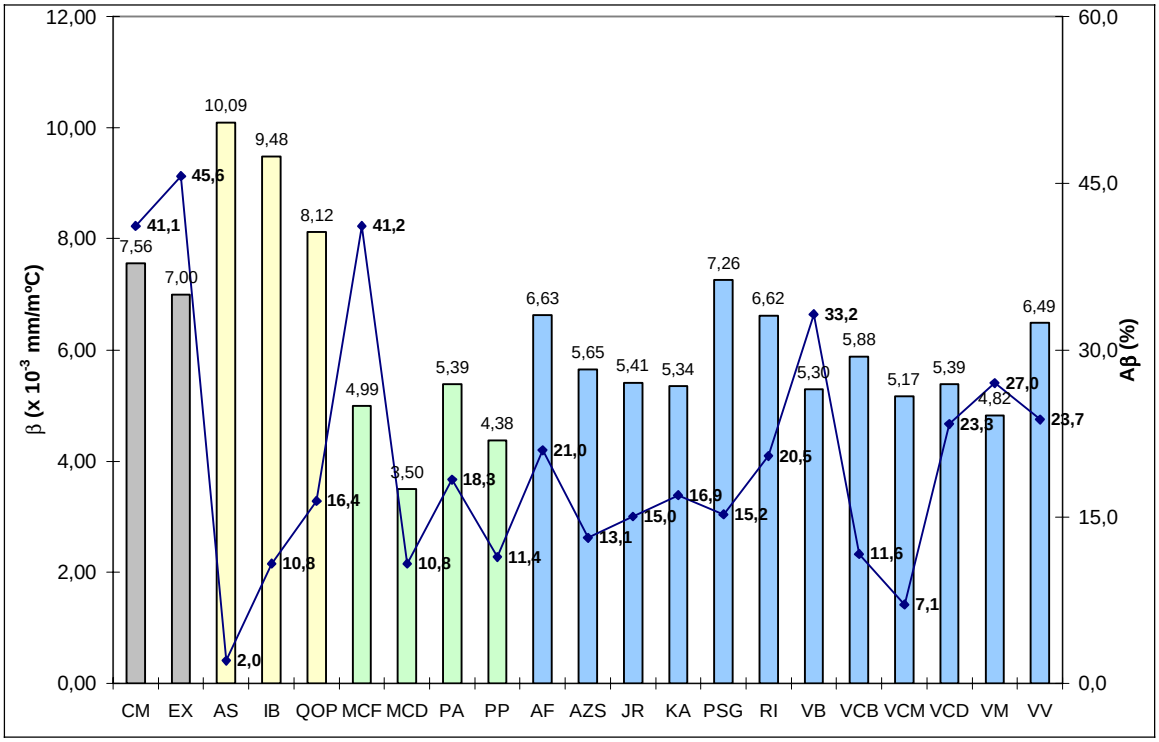


Figura 9.2: Média (ß - barras) e anisotropia do coeficiente de dilatação térmica linear (Aß - linha) para as rochas estudadas.

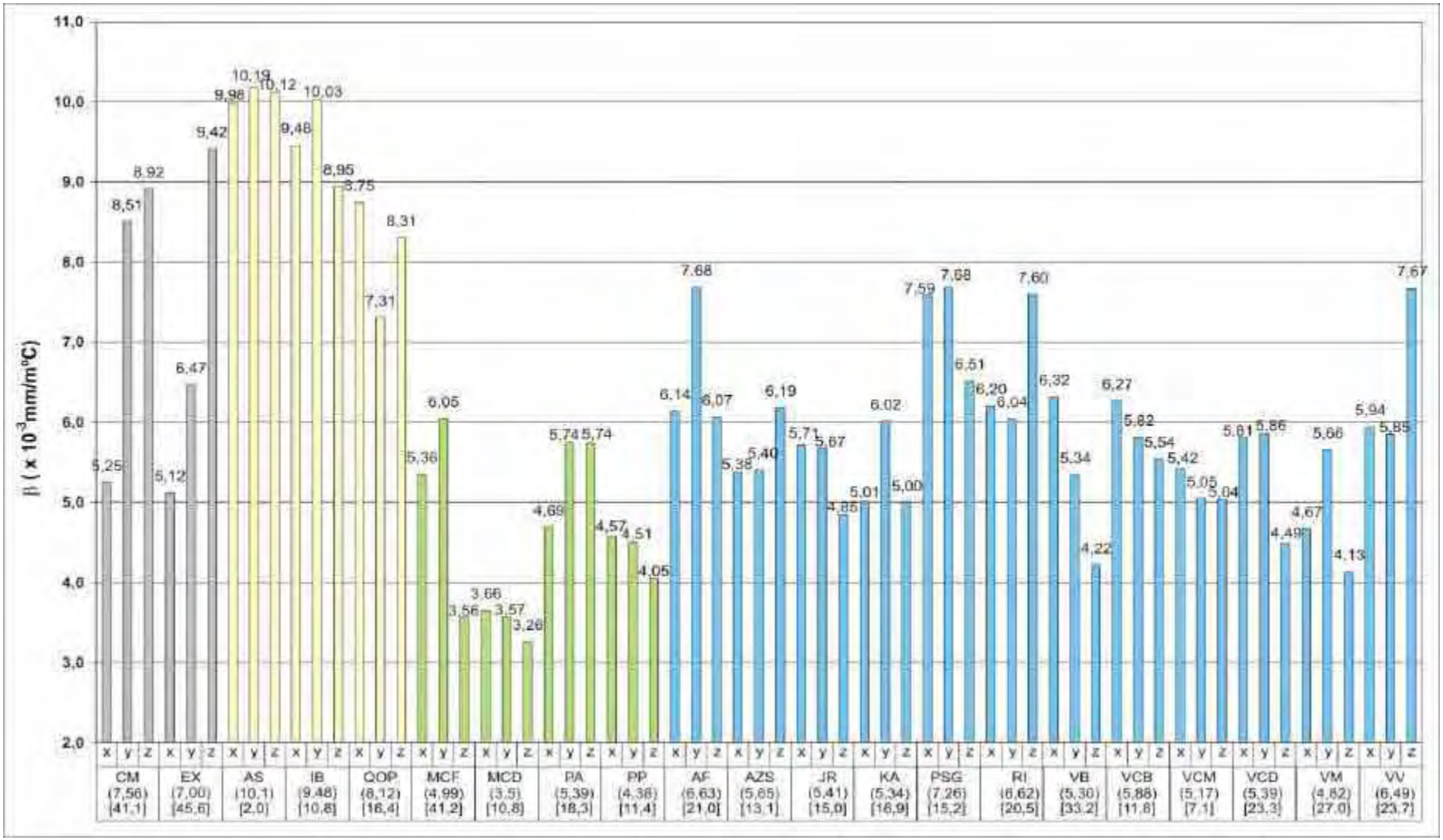


Figura 9.3: Histograma dos coeficientes de dilatação térmica lineares (ß) obtidos. Valores médios entre parênteses e anisotropia entre colchetes. Siglas conforme Tabela 5.1.

Considerando os dados de porosidade e dilatação obtidos nos 63 corpos-de-prova avaliados observa-se, no geral, baixa correlação, ora com tendência direta ora indireta, dependendo do grupo de rochas que se considera (Figura 9.4). As rochas feldspáticas apresentaram relação inversa e o melhor coeficiente de correlação (R^2 = 0,1999 ou 44,7%). A amostra AS, por sua alta porosidade, distorce a correlação entre as rochas quartzosas e quando desconsiderada da estatística esse conjunto mostra alta correlação (R^2 = 0,746 ou 86,4%) inversamente proporcional.

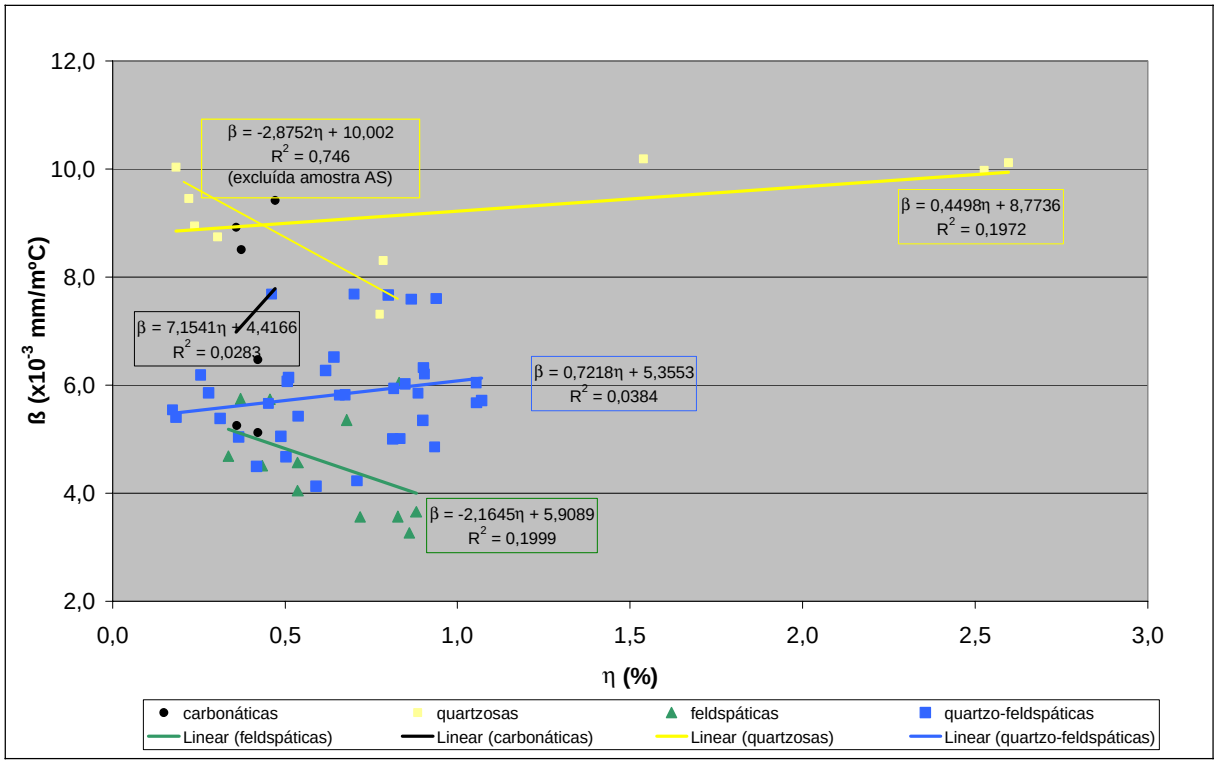


Figura 9.4: Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e porosidade aparente (?) de todos os corpos-de-prova para cada grupo de rochas estudado.

Por outro lado quando consideradas as médias de dilatação e porosidade para cada rocha observa-se uma relação inversamente proporcional mais clara (Figura 9.5) do que a observada na Figura 9.4, apesar de apresentar baixo coeficiente de correlação linear (R^2= 0,1033 ou 32,1%). No capítulo seguinte essas relações serão retomadas utilizando-se os dados petrográficos estudados.

A relação entre dilatação e Vp nas condições seca e saturada também mostrou grande dispersão de pontos (Figura 9.6). Os dados de Vp para amostras saturadas apresentam uma correlação ligeiramente melhor que as medidas na condição seca. De qualquer maneira, ambos os casos sugerem correlação inversamente proporcional, ou seja, rochas com maior porosidade (menor Vp) apresentam menores dilatações.

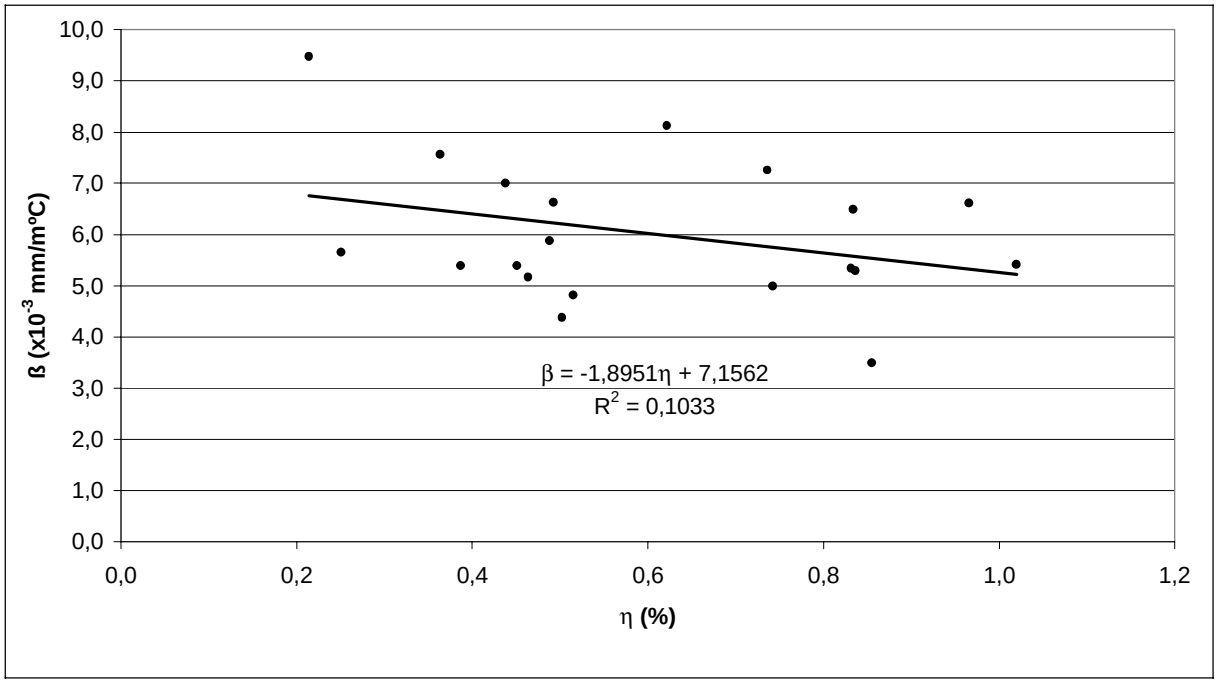


Figura 9.5: Correlação entre os valores médios de coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e porosidade aparente (?) para as rochas estudadas (exceto amostra AS).

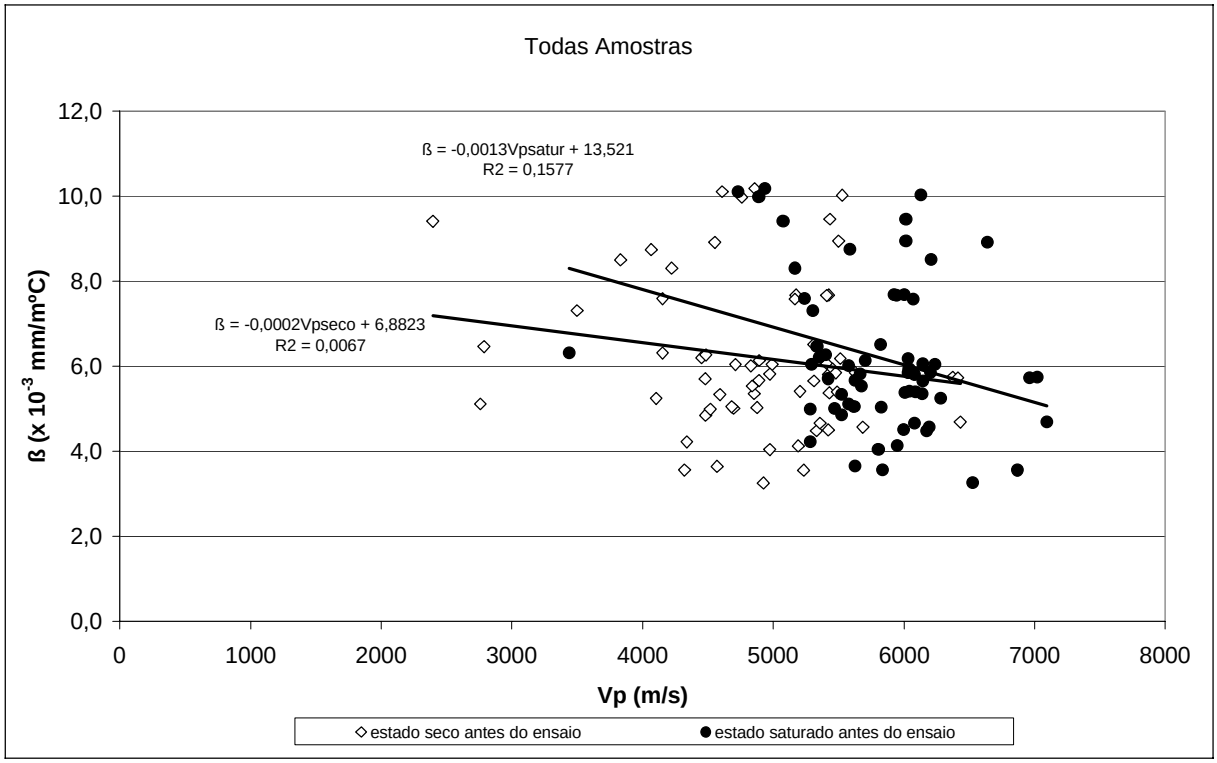


Figura 9.6: Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) obtidos nos corpos-de-prova nas condições seca e saturada em água, antes do ensaio de dilatação.

Adicionalmente deve-se mencionar que a dilatação experimentada pelas rochas estudadas durante o ensaio afetou os dados de Vp. Como regra geral para os casos analisados observou-se após o ensaio de dilatação a redução do Vp na condição seca e o aumento do Vp na condição saturada em água (Figura 9.7). A causa dessas variações está ligada à indução de microfissuras durante as fases de aquecimento e resfriamento do ensaio.

As variações observadas não foram muito expressivas, em geral um decaimento de Vp menor que 10 %, considerando os valores antes e após o ensaio de dilatação e a secagem em estufa a 110 ºC. Por outro lado pode-se concluir que temperaturas ao redor de 100 ºC são eficientes para simular a degradação de rochas, enquanto a secagem de corpos-de-prova deve considerar temperaturas menores (preferencialmente entre 50 ºC e 70 ºC), minimizando a indução de microfissuras que podem afetar resultados de ensaios.

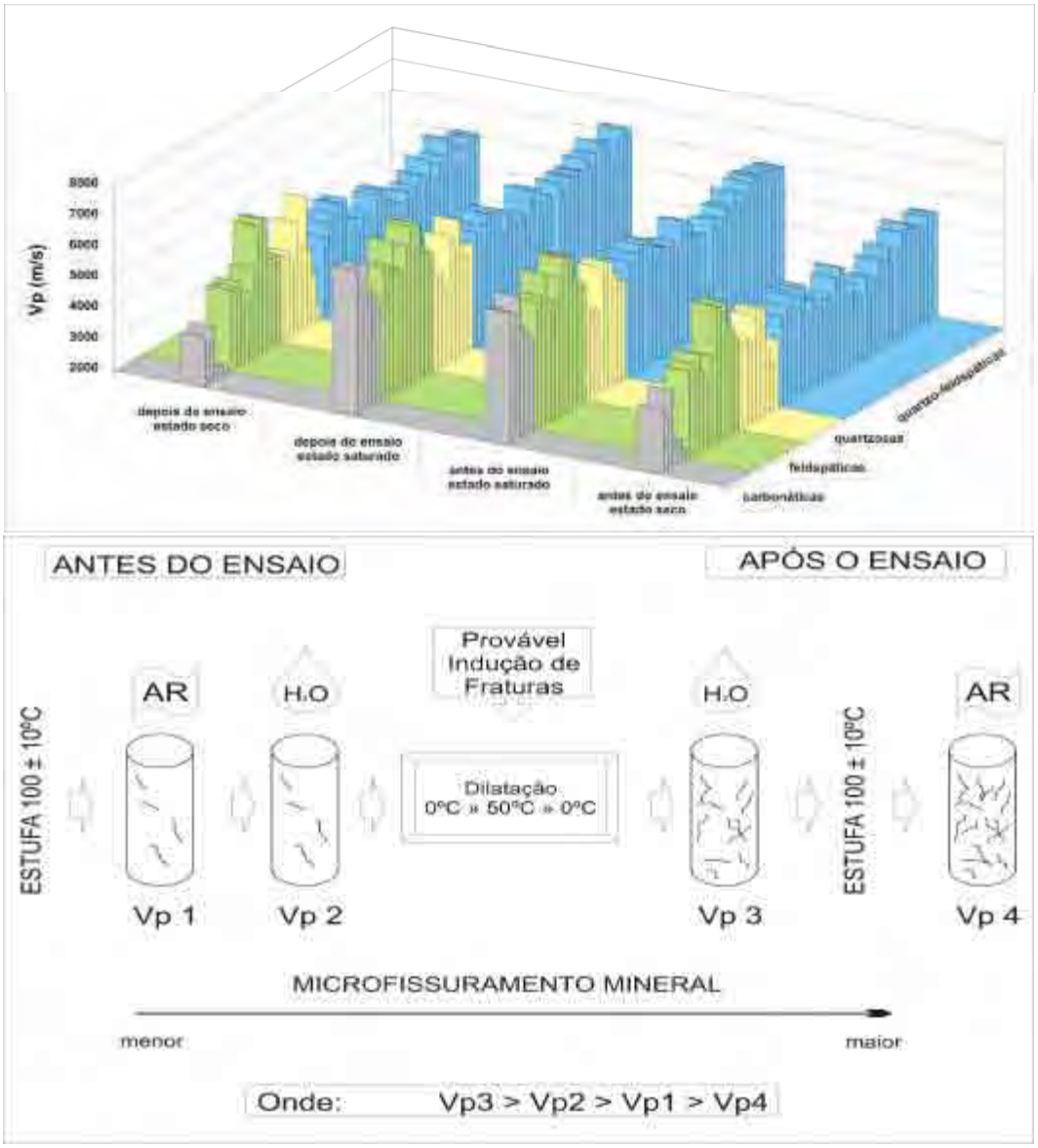


Figura 9.7: Variação da velocidade de ondas longitudinais (Vp) durante o ensaio de dilatação térmica (parte superior) e esquema geral do comportamento observado.

9.2. Resistência à Compressão Uniaxial

Os valores de tensão à compressão uniaxial consideraram as amostras selecionadas na condição seca e saturada em água, adotando-se três sentidos de compressão paralelos aos eixos *x*, *y* e *z* do sistema de referência adotado, totalizando cerca de 250 determinações da tensão de compressão uniaxial, com respectivos dados de porosidade aparente e velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (Anexo II, Tabelas 9.3, 9.4, 9.5A e 9.5B).

Tabela 9.3: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas **carbonáticas** (CM e EX) e **quartzosas** (AS, IB, QOP) estudadas nas condições seca e saturada em água.

amostra	eixo	amostras secas				amostras saturadas			
		CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)
CM - Cintilante Mesclado	X	1	115,8	4393,0	0,21	3	103,1	6789,0	0,26
		2	111,5	5046,7	0,24	4	81,7	6462,1	0,31
	Y	1	89,6	4142,3	0,23	3	83,6	6584,2	0,29
		2	92,3	4507,5	0,23	4	95,3	6445,2	0,26
	Z	1	94,8	4531,8	0,23	3	79,2	6451,9	0,29
		2	108,2	4452,6	0,23	4	87,7	6483,3	0,29
EX - Extra	X	1	75,8	3420,0	0,27	3	81,7	6020,7	0,37
		2	69,1	3207,0	0,30	4	76,1	5878,6	0,35
	Y	1	69,6	2880,1	0,29	3	70,5	5588,8	0,39
		2	65,6	3026,0	0,28	4	59,6	5768,6	0,36
	Z	1	77,2	3070,9	0,30	3	68,7	5407,1	0,36
		2	61,0	2500,0	0,36	4	72,0	5284,6	0,36
AS - Arenito Silicificado	X	1	216,5	5080,4	1,68	3	133,8	5241,4	1,55
		2	161,0	4814,5	1,30	4	152,3	5154,2	0,73
	Y	1	194,5	5157,4	1,67	3	130,1	4940,7	0,94
		2	177,8	4885,9	1,01	4	177,0	5105,6	0,79
	Z	1	169,1	4751,0	1,93	3	162,9	5084,8	0,59
		2	174,9	5117,1	1,21	4	157,1	5174,8	0,62
IB - Imperial Blue	X	1	242,5	6262,2	0,32	4	168,2	6453,5	0,32
		2	184,6	6314,8	0,31	5	166,5	6525,9	0,25
		3	214,4	6098,9	0,30				
	Y	1	184,1	5436,3	0,26	3	144,6	6244,2	0,24
		2	184,9	5447,5	0,20	4	123,3	6106,7	0,25
	Z	1	212,4	6106,6	0,28	4	205,6	6588,2	0,27
		2	187,9	6203,4	0,27	5	173,1	6457,0	0,26
		3	242,3	6216,1	0,28				
QOP - Quartzito Ouro Preto	X	1	228,6	3615,2	0,56	3	213,9	5493,1	0,59
		2	245,2	4165,3	0,41	4	294,6	6077,5	0,40
	Y	1	236,2	3453,2	0,55	3	227,0	5846,7	0,47
		2	251,3	4029,4	0,45	4	193,2	5868,9	0,45
	Z	1	221,0	3224,2	0,43	3	188,1	6098,3	0,23
		2	182,0	3056,6	0,25	4	168,3	6003,3	0,29

As rochas carbonáticas, com valores médios de tensão abaixo de 90 MPa, são as menos resistentes do conjunto estudado, conforme esperado. As rochas quartzo-feldspáticas e feldspáticas mostram valores médios intermediários (~150 MPa e 160 MPa, respectivamente), enquanto as rochas quartzosas (~200 MPa) são as mais resistentes (Figura 9.8). Os dados são concordantes com aqueles apresentados na literatura por diversos autores como Mello-Mendes (1968), Rzhevsky; Novik (1971), Lama; Vutukuri (1978), IPT (1990, 2000), Tugrul; Zarif (1999), Prikryl (2001), Navarro et al. (2003), entre outros.

Tabela 9.4: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas **feldspáticas** estudadas nas condições seca e saturada em água.

amostra	eixo	amostras secas				amostras saturadas			
		CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)
MCD - Marrom Caldas	X	1	126,6	4795,5	0,92	3	121,8	6091,9	0,75
		2	151,0	4452,5	0,97	4	121,2	5982,3	0,76
	Y	1	188,5	4298,2	0,92	3	148,5	5921,8	0,74
		2	148,0	4572,3	0,97	4	121,6	6005,1	0,71
	Z	1	167,0	4890,8	0,92	3	146,2	5924,4	0,75
		2	163,5	4859,7	0,93	4	148,0	5924,6	0,80
MCF - Marrom Café Imperial	X	1	130,5	4707,0	1,06	4	107,7	6130,9	0,75
		2	117,3	4485,1	0,94	5	82,9	6114,5	0,35
		3	114,9	4622,2	0,93				
	Y	1	116,8	4737,7	0,95	3	78,1	6119,5	0,81
		2	108,9	4633,1	0,94	4	83,4	6118,9	0,72
	Z	1	143,3	4065,2	0,96	4	104,2	6755,5	0,73
		2	150,2	4395,9	0,95	5	102,3	6709,8	0,68
		3	171,8	4279,3	0,94				
PA - Preto Apiaí	X	1	233,1	6051,5	0,35	4	217,9	7185,7	0,26
		2	216,5	6110,3	0,37	5	228,3	7281,7	0,26
		3	272,6	6188,8	0,35				
	Y	1	201,5	6321,1	0,31	4	217,7	7396,3	0,27
		2	198,2	6106,1	0,30	5	185,8	7260,7	0,21
		3	258,2	6300,0	0,31				
	Z	1	182,2	5987,3	0,27	4	162,2	7112,8	0,22
		2	247,7	6001,0	0,35	5	177,2	7288,0	0,17
		3	222,3	5923,3	0,27				
PP - Preto Piracaia	X	1	129,6	5604,3	0,22	4	79,3	6042,1	0,22
		2	111,2	5156,8	0,25	5	75,7	5983,3	0,17
		3	107,3	5529,3	0,23				
	Y	1	119,9	5230,7	0,21	4	86,9	5695,6	0,17
		2	122,0	5230,7	0,24	5	82,9	5862,5	0,22
		3	100,9	5229,4	0,24				
	Z	1	143,9	5032,6	0,26	4	96,2	5328,2	0,15
		2	129,2	4907,5	0,21	5	98,2	5466,9	0,19
		3	118,4	4840,1	0,22				

Tabela 9.5 A: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas **quartzo-feldspáticas** estudadas nas condições seca e saturada em água.

amostra	eixo	amostras secas				amostras saturadas			
		CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)
AF - Azul Fantástico	X	1	184,9	4944,4	0,47	3	129,0	5822,1	0,39
		2	183,7	4934,5	0,30	4	133,4	5968,9	0,41
	Y	1	187,6	5040,6	0,43	3	104,7	6073,5	0,40
		2	169,6	5208,8	0,34	4	120,5	5870,2	0,36
	Z	1	167,3	5084,1	0,45	3	130,2	6115,7	0,41
		2	180,9	5278,9	0,31	4	101,2	5805,0	0,42
AZS - Azul Sucuru	X	1	151,6	5590,3	0,03	3	111,2	6242,7	0,20
		2	135,3	5813,2	0,09	4	131,3	6135,7	0,16
	Y	1	211,9	5757,4	0,06	3	204,9	6181,4	0,14
		2	239,7	5694,3	0,17	4	205,8	6144,0	0,18
	Z	1	232,8	5679,5	0,13	3	182,9	6040,2	0,17
		2	246,7	5732,5	0,06	4	180,4	6056,0	0,17
JR - Jacarandá Rosado	X	1	172,3	4859,0	0,39	4	129,4	5736,5	0,68
		2	144,9	4676,3	0,77	5	124,2	5883,6	0,71
		3	151,9	5043,4	0,80	6	107,4	5671,3	0,70
	Y	1	149,2	5032,6	0,60	3	118,0	5907,3	0,75
		2	160,4	4597,2	0,74	4	101,5	5642,6	0,77
	Z	1	157,1	4930,6	0,75	4	137,3	5594,0	0,70
		2	161,8	5132,8	0,65	5	118,9	5732,5	0,68
		3	163,5	4850,7	0,73	6	109,2	5316,7	0,74
KA - Kashimir	X	1	101,6	4742,2	0,68	3	83,2	5697,7	0,66
		2	100,8	4568,6	0,70	4	88,0	5661,2	0,64
	Y	1	143,6	4701,3	0,76	3	93,2	5705,5	0,61
		2	121,8	4710,3	0,70	4	92,6	5733,1	0,61
	Z	1	126,6	4678,8	0,74	3	87,2	5571,5	0,63
		2	100,0	4578,3	0,76	4	87,1	5792,7	0,58
PSG - Preto São Gabriel	X	1	126,5	5800,0	0,47	3	104,7	6202,9	0,43
		2	123,2	5582,8	0,60	4	89,8	6278,4	0,38
	Y	1	112,7	5784,2	0,46	3	96,9	6352,0	0,36
		2	104,5	5802,7	0,45	4	78,8	6447,0	0,45
	Z	1	95,8	5619,3	0,59	3	82,8	6012,1	0,84
		2	108,3	5807,1	0,46	4	90,6	5986,2	0,42
RI - Rosa Itupeva	X	1	116,2	4680,0	0,83	3	75,8	5710,0	0,71
		2	107,8	4719,0	0,84	4	78,8	5639,4	0,74
	Y	1	118,2	4180,6	0,83	3	75,7	5335,5	0,71
		2	100,1	4177,7	0,82	4	72,1	5360,1	0,89
	Z	1	103,6	4971,2	0,78	3	68,4	5836,1	0,65
		2	120,4	4825,7	0,84	4	72,9	5705,6	0,66
VB - Vermelho Bragança	X	1	226,7	4722,6	0,81	3	189,2	5791,0	0,71
		2	197,5	4651,4	0,76	4	157,0	5799,1	0,68
	Y	1	231,7	4876,6	0,75	3	133,4	6194,3	0,71
		2	183,0	4981,2	0,78	4	151,9	5969,7	0,75
	Z	1	213,7	4480,8	0,81	3	135,9	5676,7	0,78
		2	219,6	4572,5	0,78	4	161,0	5696,6	0,75

(continua)

Tabela 9.5 B: Tensão à compressão uniaxial (s), velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade aparente (?) para as rochas **quartzo-feldspáticas** estudadas nas condições seca e saturada em água. *(continuação)*.

amostra	eixo	amostras secas				amostras saturadas			
		CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	CP	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)
VCB - Vermelho Capão Bonito	X	1	118,8	4305,6	0,32	3	106,1	5746,6	0,54
		2	144,3	4463,6	0,33	4	112,7	5791,7	0,55
	Y	1	121,4	4704,0	0,46	3	93,2	6191,7	0,53
		2	148,4	4775,2	0,09	4	105,7	5920,3	0,50
	Z	1	117,3	4802,1	0,54	3	105,2	5971,7	0,58
		2	130,0	5017,0	0,51	4	109,0	6038,6	0,54
VCD - Verde Candeias	X	1	150,2	5852,5	0,19	5	125,4	6336,6	0,20
		2	153,4	5619,2	0,14	6	132,8	6459,8	0,19
		3	136,9	5867,7	0,14	7	124,3	6611,2	0,15
		4	179,0	5766,7	0,19				
	Y	1	192,0	5909,5	0,20	5	110,8	6351,6	0,20
		2	157,3	5744,6	0,19	6	130,7	6343,0	0,15
		3	190,2	5814,7	0,14	7	136,6	6392,5	0,24
		4	171,1	5667,6	0,18				
	Z	1	172,2	5804,9	0,19	5	124,9	6178,7	0,24
		2	186,0	5877,2	0,10	6	141,1	6554,5	0,19
		3	140,8	5414,8	0,20	7	112,9	6461,1	0,13
		4	159,3	5625,2	0,19				
VCM - Verde Camacho	X	1	169,0	5680,8	0,38	4	141,9	6391,4	0,32
		2	179,9	5760,2	0,34	5	135,2	6397,8	0,32
		3	176,4	5652,4	0,42	6	129,2	6443,5	0,27
	Y	1	148,6	5255,0	0,43	3	173,7	6339,1	0,29
		2	163,5	5424,5	0,42	4	136,3	6254,7	0,38
	Z	1	187,8	5718,8	0,34	4	149,9	6363,0	0,33
		2	159,5	5564,2	0,42	5	141,6	6207,4	0,33
		3	165,5	5547,6	0,42	6	135,7	6389,0	0,38
VM - Verde Maritaca	X	1	199,4	5883,5	0,33	4	132,2	6619,4	0,21
		2	140,2	5778,6	0,32	5	115,9	6596,9	0,32
		3	141,9	5692,9	0,34	6	101,9	6533,7	0,34
	Y	1	168,0	5329,0	0,38	4	129,0	6420,8	0,25
		2	186,5	5224,8	0,38	5	113,4	5812,7	0,32
		3	170,4	5116,7	0,36				
	Z	1	178,3	5296,8	0,31	4	118,6	6441,2	0,22
		2	201,9	5458,3	0,32	5	123,7	6402,9	0,22
		3	173,9	5178,0	0,36	6	113,1	6167,0	0,29
VV - Verde Veneciano	X	1	108,7	5601,6	0,47	4	58,5	6008,3	0,32
		2	65,2	5736,0	0,40	5	69,6	6202,6	0,29
		3	75,3	5804,9	0,43	6	64,0	6083,1	0,28
	Y	1	98,7	5681,9	0,39	4	80,4	6071,4	0,41
		2	102,8	5734,9	0,45	5	53,4	5889,3	0,34
		3	99,2	5672,2	0,39	6	61,6	5863,9	0,35
	Z	1	96,0	5797,6	0,37	4	49,5	6068,1	0,38
		2	107,0	5684,4	0,40	5	47,7	5943,4	0,30
		3	82,6	5662,5	0,31	6	77,4	6013,2	0,25

A diferença de tensão à compressão entre as condições seca e saturada em água é de 7% para as rochas carbonáticas, 11% para as quartzosas, 20% para as feldspáticas e 25% para as quartzo-feldspáticas (Figura 9.8). O decaimento para rochas quartzo-feldspáticas são um pouco superiores aos apresentados por Kessler et al. (1940).

As maiores variações entre Vp seco e saturado foram registradas para as amostras carbonáticas, e os demais conjuntos apresentaram variações entre 15% e 20% (Figura 9.8).

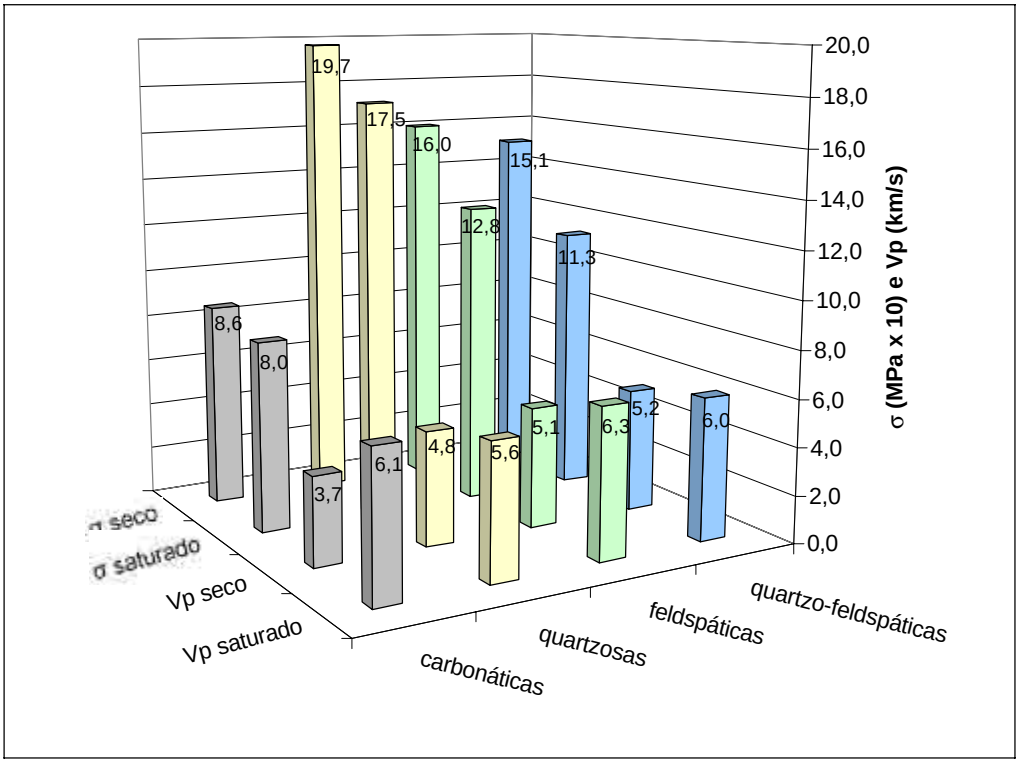


Figura 9.8: Valores médios de tensão à compressão (s) nas condições seca e saturada e de velocidade de ondas ultra-sônicas (Vp) para os grupos estudados.

A relação entre tensão à compressão e Vp, como esperado, é diretamente proporcional tanto para as amostras secas quanto para as amostras saturadas em água, embora o conjunto de pontos apresente dispersão alta que reflete em baixos coeficientes de correlação (Figura 9.9). Os corpos-de-prova ensaiados na condição seca apresentam um coeficiente de correlação linear maior (R = 0,36) que as amostras na condição saturada (R = 0,18), o que indica que a água aumenta significativamente a variabilidade desses resultados.

Nota-se também que as amostras saturadas em água apresentam maiores valores de Vp e menor resistência à compressão do que as amostras secas. Mesmo considerando rochas com porosidades semelhantes nota-se que os valores de resistência são aproximadamente 20% menores para as amostras saturadas em água e os valores de Vp são de 15% a 30% maiores, evidenciando a influência da água sobre esses parâmetros.

As relações entre Vp e porosidade, inversamente proporcionais, são mais claras para as amostras ensaiadas na condição saturada do que na condição seca (Figura 9.10).

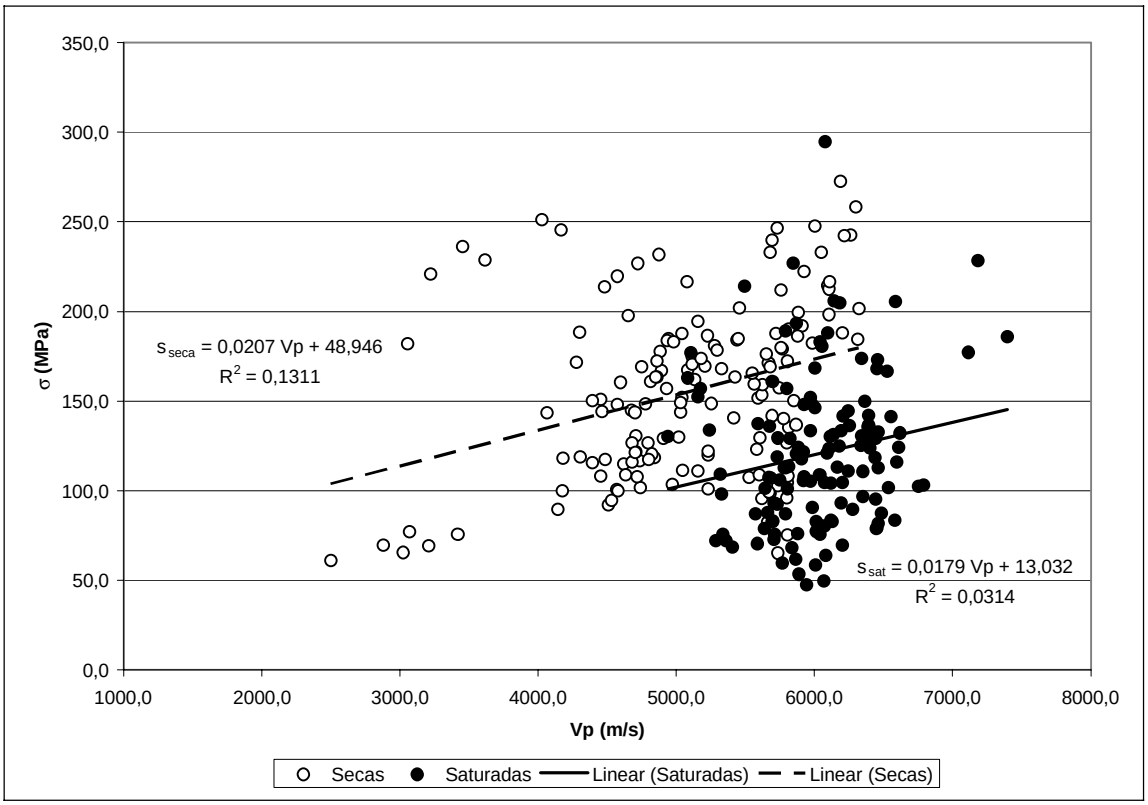


Figura 9.9: Correlação entre tensão à compressão uniaxial (s) e velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) para amostras na condição seca e saturada.

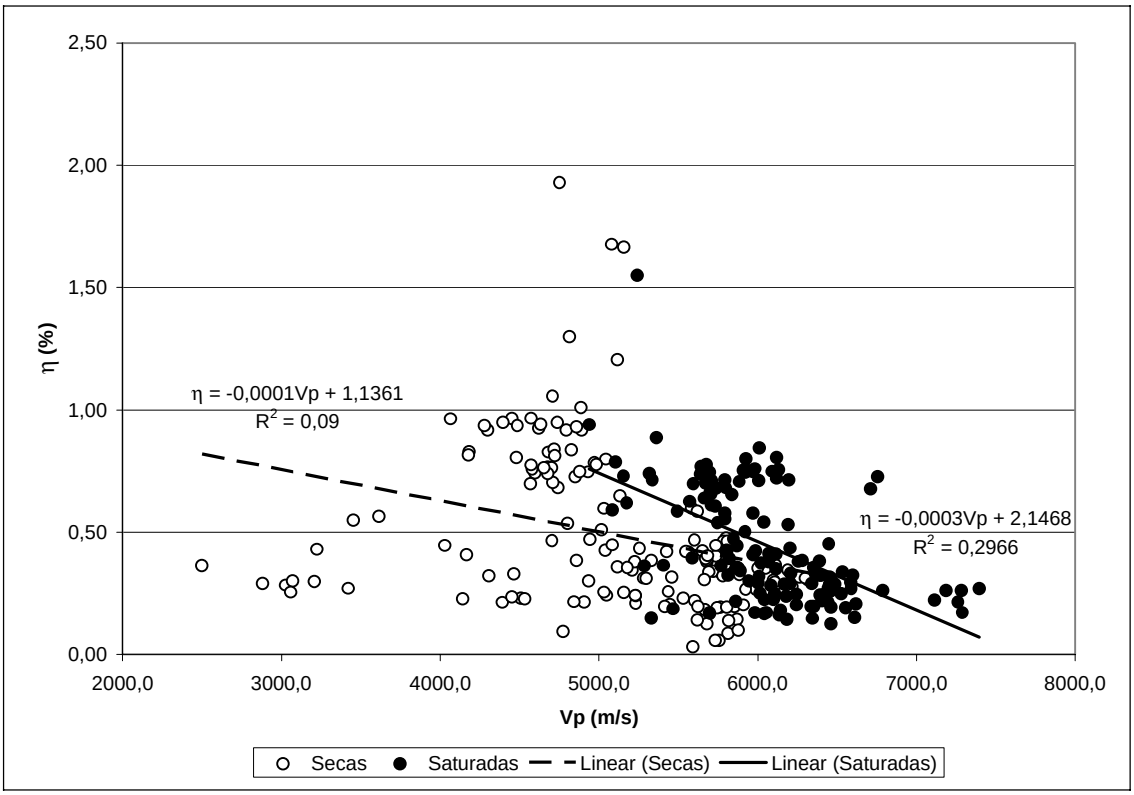
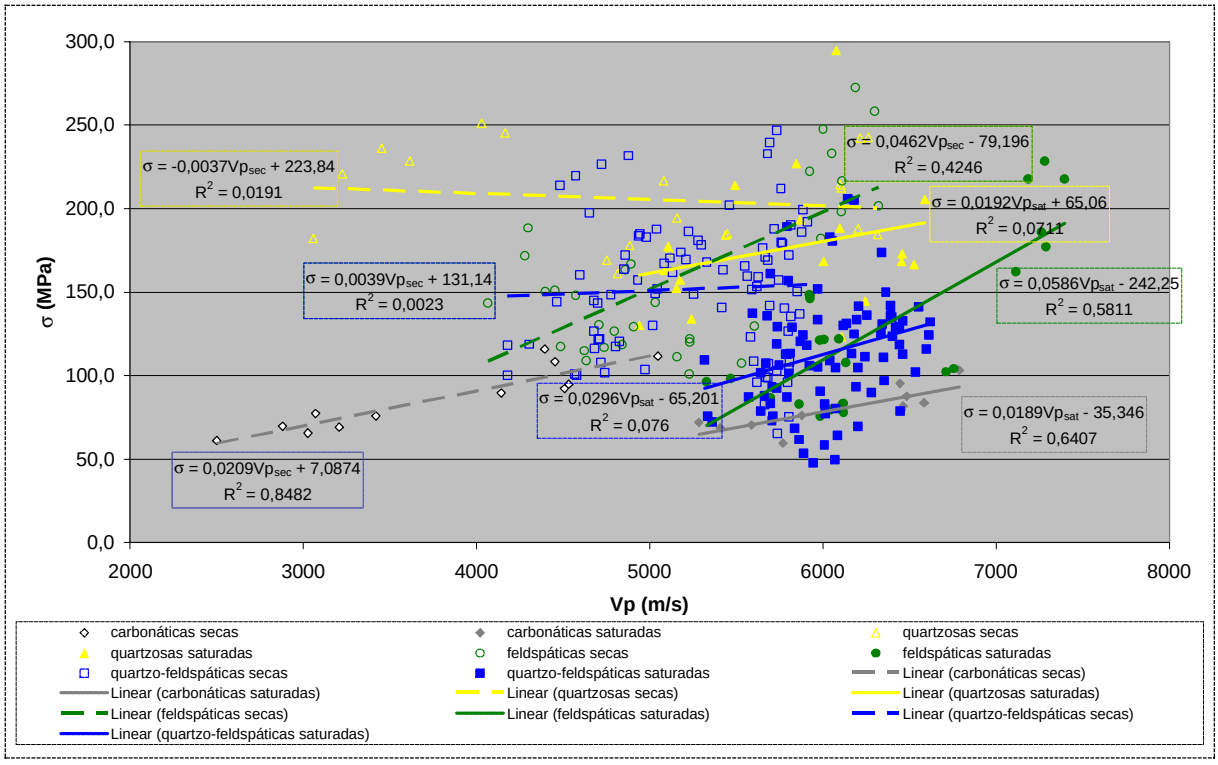


Figura 9.10: Correlação entre velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) e porosidade (?).

A forte dispersão de pontos observada na Figura 9.9 é resultado da influência do Quartzito Ouro Preto (alta tensão e baixo Vp) e dos mármores estudados (baixos Vp e tensão). Na Figura 9.10 a dispersão observada é atribuída aos mármores com baixos Vp e porosidade.

A análise dos dados de Vp e tensão considerando isoladamente cada grupo de rochas mostra comportamentos semelhantes para todos os grupos, uma vez que a relação diretamente proporcional entre essas variáveis se repete (Figura 9.11). Entretanto os coeficientes de correlação linear obtidos (medida adimensional da afinidade estatística entre duas variáveis) são consideravelmente diferentes para cada grupo.

As rochas carbonáticas e feldspáticas mostram coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,42, para ambas condições de ensaio, enquanto as rochas quartzosas e quartzo-feldspáticas apresentam coeficientes de correlação muito baixos.



Grupo rochoso	Condição	Coeficiente de correlação	Equação da reta
Carbonáticas	Seca	R^2 = 0,8482	s_{seco} = 0,0209Vp$_{sec}$ + 7,0874
	Saturada	R^2 = 0,6407	$s_{saturado}$ = 0,0189Vp$_{sat}$ - 35,346
Quartzosas	Seca	R^2 = 0,0191	s_{seco} = -0,0037Vp$_{sec}$ + 223,84
	Saturada	R^2 = 0,0711	$s_{saturado}$ 0,0192Vp$_{sat}$ + 65,06
Feldspáticas	Seca	R^2 = 0,4246	s_{seco} = 0,0462 Vp$_{sec}$ - 79,196
	Saturada	R^2 = 0,5811	$s_{saturado}$ = 0,0586 Vp$_{sat}$ - 242,25
Quartzo-feldspáticas	Seca	R^2 = 0,0023	s_{seco} = 0,0039 Vp$_{sec}$ + 131,14
	Saturada	R^2 = 0,076	$s_{saturado}$ = 0,0296Vp$_{sat}$ - 65,201

Figura 9.11: Correlação entre velocidade de ondas longitudinais (Vp) e resistência à compressão uniaxial (s) na condição seca e saturada para cada grupo de rocha estudado.

Percebe-se facilmente que as rochas carbonáticas e feldspáticas ensaiadas na condição seca se concentram em áreas bem definidas no gráfico, ao passo que as rochas quartzosas e quartzo-feldspáticas se distribuem em ampla faixa.

Com base nos valores médios de tensão e Vp para os eixos e condições consideradas foram calculados valores de anisotropia (As) apresentados nas (Tabelas 9.6 e 9.7).

Tabela 9.6: Valores médios para cada eixo das propriedades tecnológicas estudadas para as rochas carbonáticas, quartzosas e feldspáticas.

		SECO					SATURADO						
amostra		s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	As seco (%)	AVp seco (%)	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	As sat (%)	AVp sat (%)	Ks	KVp
CM	X	113,7	4719,9	0,23	**20,0**	**8,4**	92,4	6625,6	0,29	**9,7**	**2,4**	0,8	1,4
	Y	91,0	4324,9	0,23			89,4	6514,7	0,28			1,0	1,5
	Z	101,5	4492,2	0,23			83,4	6467,6	0,29			0,8	1,4
EX	X	72,5	3313,5	0,28	**6,7**	**15,9**	78,9	5949,7	0,36	**17,6**	**10,1**	1,1	1,8
	Y	67,6	2953,0	0,29			65,0	5678,7	0,38			1,0	1,9
	Z	69,1	2785,4	0,33			70,3	5345,9	0,36			1,0	1,9
AS	X	188,8	4947,4	1,49	**8,9**	**1,7**	143,0	5197,8	1,14	**10,6**	**3,4**	0,8	1,1
	Y	186,1	5021,7	1,34			153,6	5023,1	2,03			0,8	1,0
	Z	172,0	4934,1	1,57			160,0	5129,8	0,60			0,9	1,0
IB	X	213,8	6225,3	0,31	**13,9**	**12,6**	167,4	6489,7	0,28	**29,3**	**5,3**	0,8	1,0
	Y	184,5	5441,9	0,23			134,0	6175,4	0,25			0,7	1,1
	Z	214,2	6175,4	0,28			189,3	6522,6	0,26			0,9	1,1
QOP	X	236,9	3890,2	0,49	**17,3**	**19,3**	254,2	5785,3	0,49	**29,9**	**4,4**	1,1	1,5
	Y	243,8	3741,3	0,65			210,1	5857,8	0,46			0,9	1,6
	Z	201,5	3140,4	0,78			178,2	6050,8	0,26			0,9	1,9
MCD	X	138,8	4624,0	0,94	**17,5**	**9,0**	121,5	6037,1	0,75	**17,4**	**1,9**	0,9	1,3
	Y	168,2	4435,3	0,94			135,0	5963,4	0,73			0,8	1,3
	Z	165,2	4875,3	0,92			147,1	5924,5	0,78			0,9	1,2
MCF	X	120,9	4604,8	0,97	**27,2**	**9,4**	95,3	6122,7	0,55	**21,8**	**9,1**	0,8	1,3
	Y	112,9	4685,4	0,94			80,8	6119,2	0,76			0,7	1,3
	Z	155,1	4246,8	0,95			103,2	6732,6	0,70			0,7	1,6
PA	X	240,7	6116,9	0,36	**9,7**	**4,4**	223,1	7233,7	0,26	**23,9**	**1,7**	0,9	1,2
	Y	219,3	6242,4	0,31			201,8	7328,5	0,24			0,9	1,2
	Z	217,4	5970,5	0,29			169,7	7200,4	0,20			0,8	1,2
PP	X	116,0	5430,2	0,23	**12,4**	**9,3**	77,5	6012,7	0,20	**20,3**	**10,2**	0,7	1,1
	Y	114,3	5230,3	0,23			84,9	5779,0	0,19			0,7	1,1
	Z	130,5	4926,7	0,23			97,2	5397,6	0,17			0,7	1,1

s = resistência à compressão uniaxial; Vp = velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais; ? = porosidade aparente; A s = anisotropia da tensão à compressão; AVp = anisotropia de Vp; Ks = coeficiente de decaimento da tensão pela água; KVp = coeficiente de incremento do Vp.

Tabela 9.7: Valores médios para cada eixo das propriedades tecnológicas estudadas para as rochas quartzo-feldspáticas.

amostra		SECO					SATURADO					Ks	KVp
		s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	As seco (%)	AVp seco (%)	s (MPa)	Vp (m/s)	? (%)	As sat (%)	AVp sat (%)		
AF	X	184,3	4939,5	0,39	5,5	4,7	131,2	5895,5	0,40	14,2	1,3	0,7	1,2
	Y	178,6	5124,7	0,39			112,6	5971,8	0,38			0,6	1,2
	Z	174,1	5181,5	0,38			115,7	5960,3	0,42			0,7	1,2
AZS	X	143,5	5701,8	0,06	40,2	0,4	121,3	6189,2	0,18	41,0	2,3	0,8	1,1
	Y	225,8	5725,8	0,11			205,3	6162,7	0,16			0,9	1,1
	Z	239,8	5706,0	0,09			181,7	6048,1	0,17			0,8	1,1
JR	X	156,4	4859,5	0,65	3,7	3,1	120,4	5763,8	0,70	9,9	3,9	0,8	1,2
	Y	154,8	4814,9	0,67			109,8	5775,0	0,76			0,7	1,2
	Z	160,8	4971,4	0,71			121,8	5547,7	0,71			0,8	1,1
KA	X	101,2	4655,4	0,69	23,7	1,6	85,6	5679,4	0,65	7,9	0,7	0,8	1,2
	Y	132,7	4705,8	0,73			92,9	5719,3	0,61			0,7	1,2
	Z	113,3	4628,6	0,75			87,1	5682,1	0,60			0,8	1,2
PSG	X	124,9	5691,4	0,54	18,3	1,8	97,2	6240,7	0,41	10,8	6,3	0,8	1,1
	Y	108,6	5793,4	0,46			87,8	6399,5	0,40			0,8	1,1
	Z	102,0	5713,2	0,52			86,7	5999,2	0,63			0,8	1,1
RI	X	112,0	4699,5	0,83	2,6	14,7	77,3	5674,7	0,72	8,5	7,3	0,7	1,2
	Y	109,1	4179,1	0,82			73,9	5347,8	0,80			0,7	1,3
	Z	112,0	4898,5	0,81			70,7	5770,9	0,65			0,6	1,2
VB	X	212,1	4687,0	0,79	4,3	8,2	173,1	5795,0	0,70	17,6	6,5	0,8	1,2
	Y	207,4	4928,9	0,76			142,7	6082,0	0,73			0,7	1,2
	Z	216,7	4526,7	0,79			148,4	5686,6	0,76			0,7	1,3
VCB	X	131,5	4384,6	0,33	8,4	10,7	109,4	5769,2	0,55	9,1	4,7	0,8	1,3
	Y	134,9	4739,6	0,28			99,5	6056,0	0,52			0,7	1,3
	Z	123,6	4909,6	0,52			107,1	6005,1	0,56			0,9	1,2
VCD	X	154,9	5776,5	0,17	12,8	1,8	127,5	6469,2	0,18	1,1	1,7	0,8	1,1
	Y	177,7	5784,1	0,18			126,1	6362,4	0,20			0,7	1,1
	Z	164,6	5680,5	0,17			126,3	6398,1	0,18			0,8	1,1
VCM	X	175,1	5697,8	0,38	10,9	6,3	135,4	6410,9	0,31	12,6	1,8	0,8	1,1
	Y	156,0	5339,8	0,43			155,0	6296,9	0,33			1,0	1,2
	Z	170,9	5610,2	0,39			142,4	6319,8	0,35			0,8	1,1
VM	X	160,5	5785,0	0,33	13,1	9,7	116,7	6583,3	0,29	3,7	7,1	0,7	1,1
	Y	175,0	5223,5	0,37			121,2	6116,8	0,29			0,7	1,2
	Z	184,7	5311,0	0,33			118,5	6337,0	0,24			0,6	1,2
VV	X	83,1	5714,1	0,43	17,1	0,3	64,0	6098,0	0,30	10,7	2,6	0,8	1,1
	Y	100,2	5696,3	0,41			65,1	5941,5	0,37			0,6	1,0
	Z	95,2	5714,8	0,36			58,2	6008,2	0,31			0,6	1,1

s = resistência à compressão uniaxial; Vp = velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais; ? = porosidade aparente; A s = anisotropia da tensão à compressão; AVp = anisotropia de Vp; Ks = coeficiente de decaimento da tensão pela água; KVp = coeficiente de incremento do Vp.

Os valores de As_{seco} variaram entre 2,6% e 40,2% e a maioria das rochas estudadas apresentou valores entre 5% e 20%. A maior variação de As_{seco} foi observada no grupo das rochas quartzo-feldspáticas (Figura 9.12). A $As_{saturado}$ variou de 1,1% a 41% com a maioria dos casos entre 5% e 15%. Em poucos casos a $As_{saturado}$ foi semelhante à As_{seco} (AS, MCD,

MCF, AZS, VCB e VCM), e nas demais amostras a $As_{saturado}$ foi até 15 pontos percentuais maior ou menor que As_{seco}.

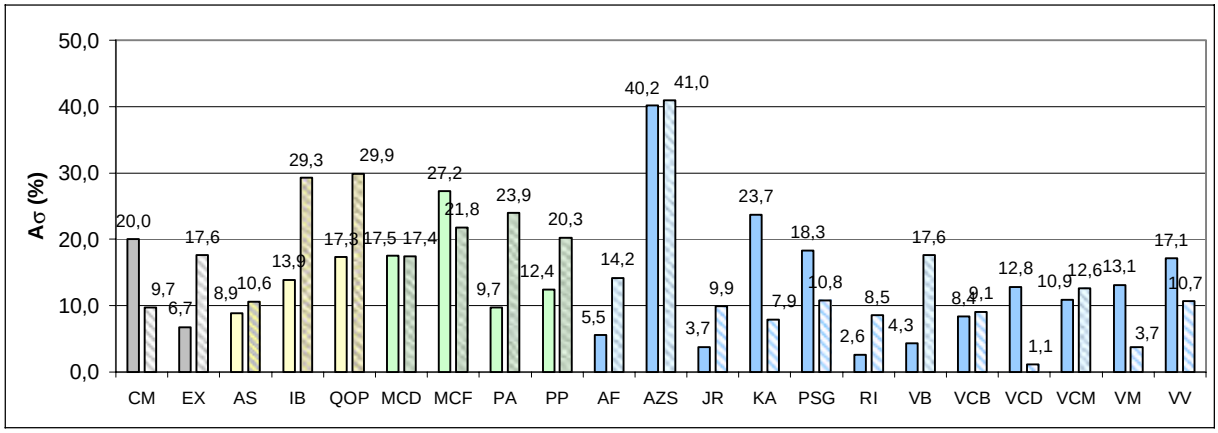


Figura 9.12: Anisotropia da resistência à compressão uniaxial (As) para corpos-de-prova na condição seca (coluna cheia) e saturado em água (coluna com hachura).

A AVp_{seco} observada foi de 0,3% a 19,3% com a maioria dos casos abaixo de 10%. Já a $AVp_{saturado}$ variou menos, de 0,7% a 10,2%, com a maior parte dos casos abaixo de 5% (Figura 9.13). De modo geral a $AVp_{saturado}$ é menor do que aquela na condição seca .

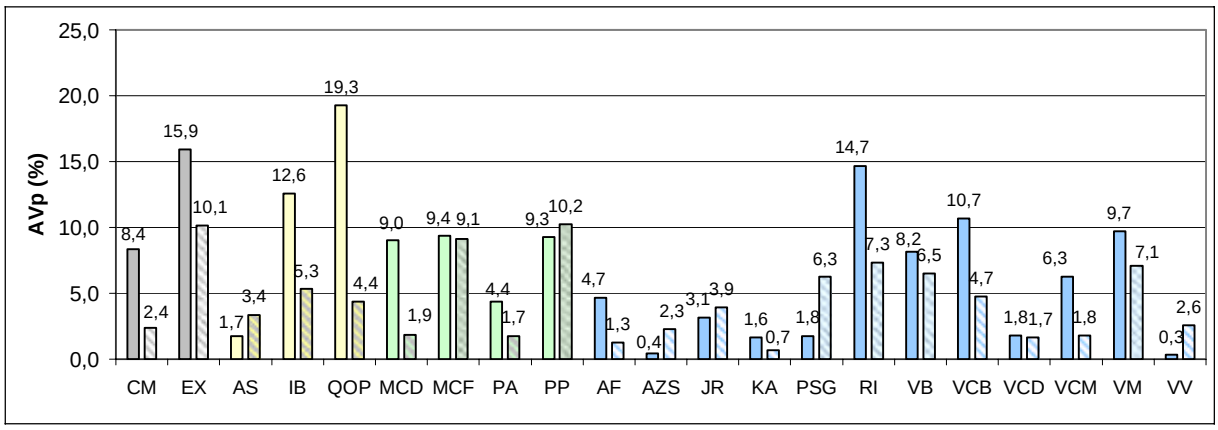


Figura 9.13: Anisotropia da velocidade de ondas ultra-sônicas (AVp) para corpos-de-prova na condição seca (coluna cheia) e saturado em água (coluna com hachura).

Os valores de anisotropia da tensão de compressão e Vp apresentados nas Figuras 9.12 e 9.13 foram calculados com valores médios apresentados nas Tabelas 9.6 e 9.7, onde se nota que em muitos casos (especialmente as rochas quartzo-feldspáticas) não há diferença significativa entre os dados dos três eixos avaliados, o que significa baixa anisotropia. Há de se considerar também que o decaimento da tensão causado pela água, em grande parte dos casos, não é homogêneo para os três eixos, ou seja, se determinado eixo é mais resistente na

condição seca, poderá não sê-lo após o ensaio na condição saturada. Dessa forma as referências dos valores para cada eixo (maior ou menor) podem mudar após o ensaio na condição saturada, explicando assim porque a $As_{saturado}$ não é semelhante à As_{seco} para a maior parte dos dados.

Observou-se também uma relação direta (Figura 9.14) entre os coeficientes de enfraquecimento da tensão pela água (Ks) e de incremento do Vp (K_{Vp}) da ordem de 56% (R^2 = 0,3197) que indica uma relação estatisticamente mais significativa do que aquela observada entre os dados brutos de tensão e Vp apresentada na Figura 9.9, com apenas 36,2% (R^2 = 0,1311) para a condição seca e 17,7% (R^2 = 0,0314) para a condição saturada em água.

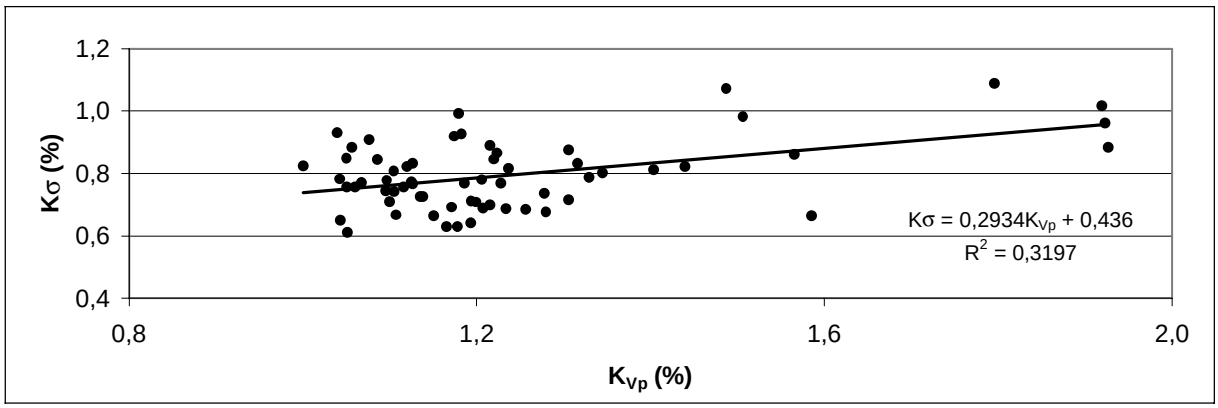


Figura 9.14: Correlação entre os coeficientes de enfraquecimento da tensão pela água (Ks) e de incremento do Vp (K_{Vp}).

CAPÍTULO 10

INTEGRAÇÃO DOS DADOS PETROGRÁFICOS E TECNOLÓGICOS

O extenso conjunto de informações e dados petrográficos e tecnológicos apresentados e comentados separadamente nos capítulos anteriores foi integrado e correlacionado de diferentes maneiras visando fundamentalmente compreender quais dos fatores intrínsecos (mineralogia, textura e estrutura) estudados são mais relevantes para as propriedades coeficiente de dilatação térmica linear (ß) e resistência à compressão uniaxial (σ), considerando também suas respectivas anisotropias (Aß e Aσ).

No Capítulo 9 – Caracterização Tecnológica foram apresentados gráficos correlacionando algumas das propriedades estudadas, tais como ß e porosidade (Figura 9.5), ß e Vp (Figura 9.6), σ e Vp (Figura 9.9), Vp e porosidade (Figura 9.10). Em todos os casos foram obtidos baixos coeficientes de correlação, indicando que as propriedades estudadas não se relacionam de forma linear ou são influenciadas por outros parâmetros não representados no sistema binário utilizado.

Procurando reconhecer as interferências que as características petrográficas causam nessas propriedades e a anisotropia que apresentam desenvolveu-se a integração em dois níveis, inicialmente considerando genericamente os quatro grupos litológicos estudados e, num segundo momento de forma mais detalhada, as variações observadas entre as rochas que compunham cada um desses grupos.

A porosidade e Vp determinadas em cada um dos corpos-de-prova ensaiados foram adotadas como ferramentas adicionais e complementares dos demais ensaios. A porosidade foi assumida como medida indireta do microfissuramento (também quantificado por análise de imagens, conforme apresentado) e o Vp como medida indireta da anisotropia de forma imposta pela foliação e do microfissuramento mineral, contudo podendo apresentar influencias da mineralogia, orientação preferencial e granulação da rocha.

10.1. Anisotropia do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

A dilatação térmica em minerais é vista pela literatura corrente como uma propriedade direcional e, portanto pode ser expressa por vetores (BLOSS, 1971; BORGES, 1982). Assim espera-se que rochas monominerálicas reproduzam melhor as propriedades dos minerais do que rochas poliminerálicas, especialmente se os eixos cristalográficos apresentarem orientações preferenciais.

A simples comparação visual dos grupos de rochas estudados (Figuras 9.2 e 9.3, páginas 125 e 126) permite concluir que a composição mineral essencial é uma variável importante para a dilatação térmica. Com intuito de verificar mais detalhadamente a influência dessa variável, os dados de dilatação, porosidade e Vp obtidos foram submetidos à análise estatística multivariada pelo método de análise discriminante (utilizando o algoritmo *backward stepwise* do programa Statistica®). Foram assumidos seis agrupamentos para as rochas estudadas: carbonáticas, quartzosas, feldspáticas a feldspato potássico (MCF e MCD), feldspáticas a plagioclásio (PA e PP) e quartzo-feldspáticas, subdivididas em graníticas (amostras AF, AZS, JR, KA, RI, VB e VCB) e charnockíticas (amostras PSG, VCM, VCD, VM e VV). O resultado desse tratamento estatístico (Figura 10.1) mostra que as rochas carbonáticas, as quartzosas e as feldspáticas a plagioclásio se individualizam claramente dos demais conjuntos. As rochas quartzo-feldspáticas (graníticas e charnockíticas) e feldspáticas a feldspato potássico dividem a porção central do gráfico, entre as rochas quartzosas e feldspáticas a plagioclásio.

A influência da composição mineral sobre a dilatação térmica das rochas silicáticas mostra duas tendências. Os conteúdos de quartzo e biotita são diretamente proporcionais à dilatação, enquanto os conteúdos de feldspatos são inversamente proporcionais. A porcentagem de quartzo exibe correlação da ordem de 80% e o feldspato potássico cerca de 65% (Figura 10.2). Considerando todas as rochas silicáticas obteve-se coeficientes de correlação para biotita e plagioclásio próximos a 30%.

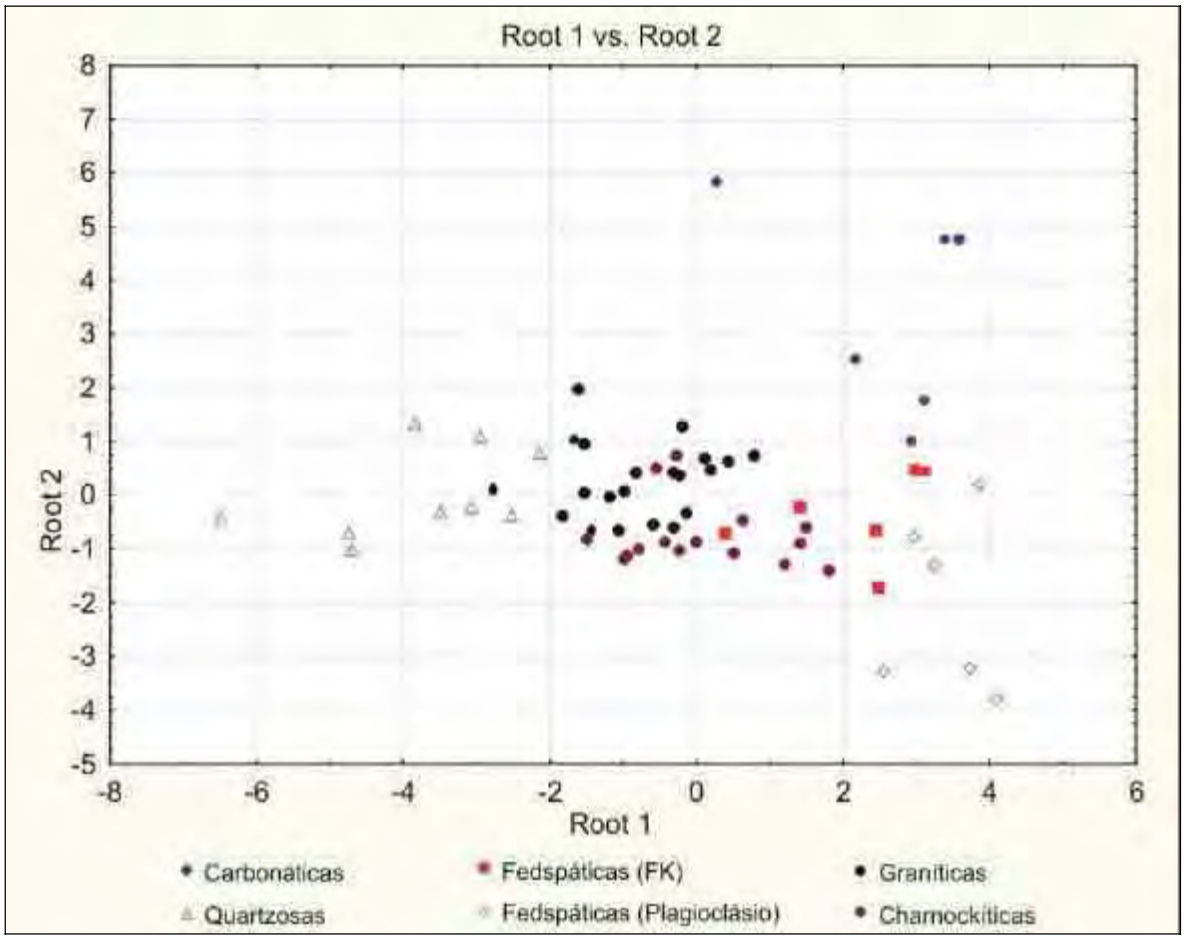
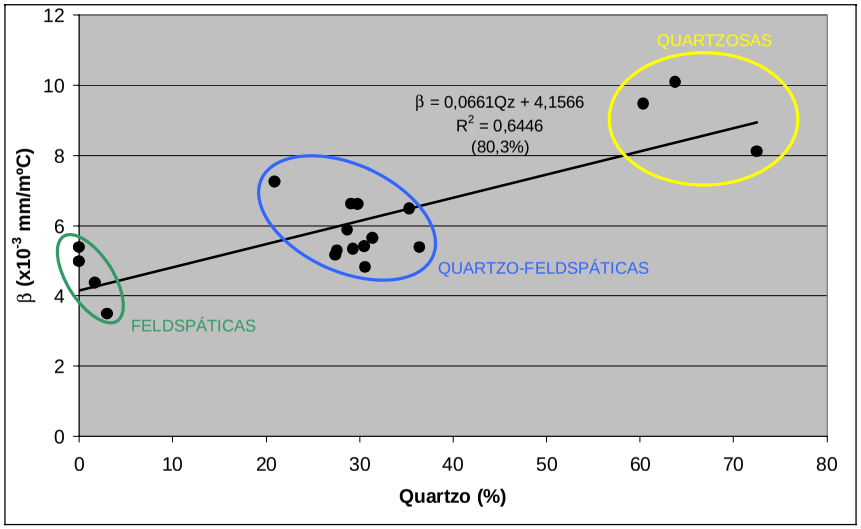


Figura 10.1: Gráfico de análise discriminante para as rochas estudadas, considerando as variáveis coeficiente de dilatação térmica, Vp e porosidade.

As correlações entre dilatação térmica e a somatória das porcentagens de quartzo e biotita, e a somatória dos feldspatos, também com ótimos coeficientes de correlação, encontram-se na Figura 10.3.

A verificação da baixa correlação com tendência inversamente proporcional entre as média de coeficiente de dilatação térmica e porosidade (Figuras 9.4 e 9.5, páginas 127 e 128) também foi observada entre os valores médios de dilatação e intensidade de microfissuramento, e dilatação e comprimento médio das microfissuras (Figura 10.4). A correlação com a porcentagem de área alterada também é inversamente proporcional e estatisticamente um pouco mais significativa (Figura 10.5).



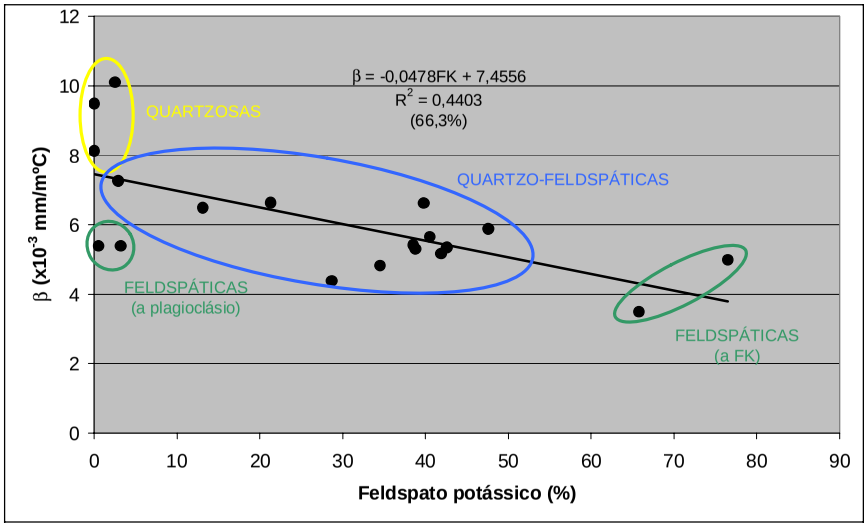
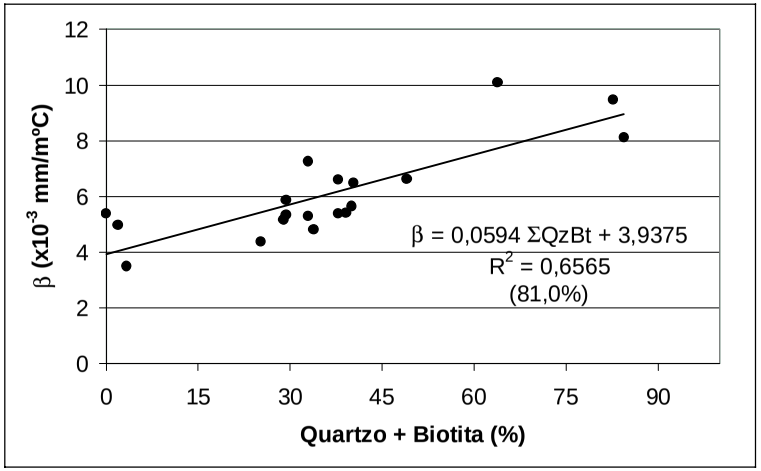


Figura 10.2: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e porcentagens de quartzo e feldspato. (valores médios as rochas silicáticas estudadas).



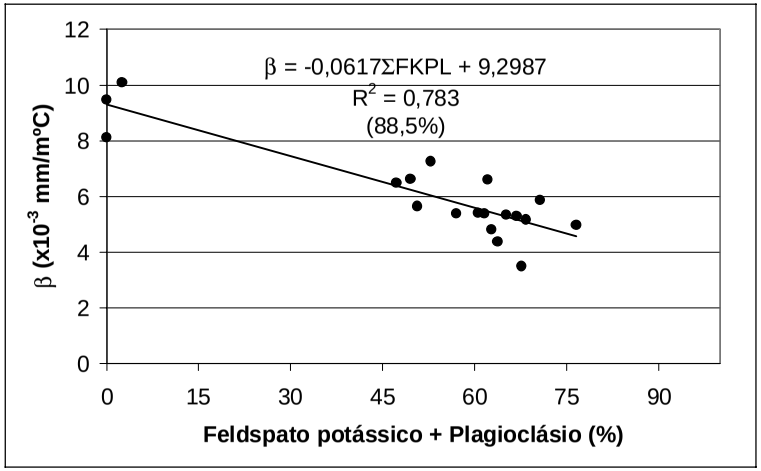


Figura 10.3: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e somatória das porcentagens de quartzo e biotita (? QzBt) e somatória das porcentagens de feldspato potássico e plagioclásio (? FKPl), considerando todas rochas silicáticas.

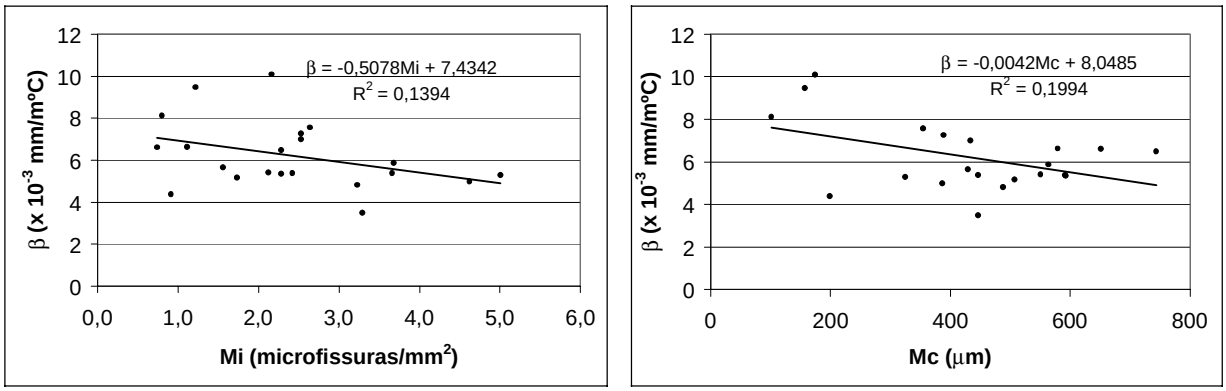


Figura 10.4: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß), intensidade de microfissuras (Mi) e comprimento médio de microfissuras (Mc). (valores médios para cada rocha estudada).

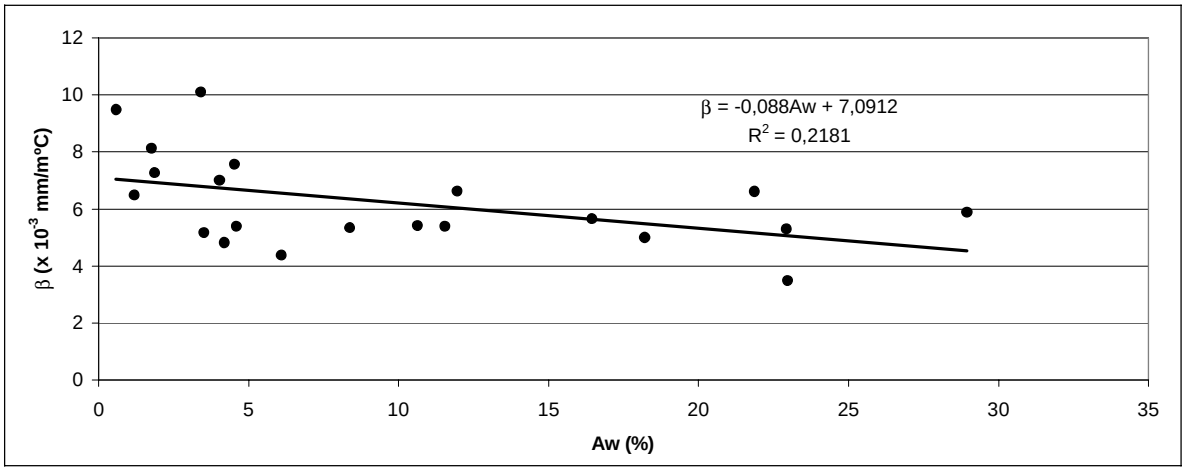


Figura 10.5: Regressão linear entre coeficiente de dilatação térmica (ß) e porcentagem de área alterada (Aw). (valores médios para cada rocha estudada).

A anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (Aß), como já apresentado, é amplamente variável no conjunto estudado. As rochas carbonáticas (dolomita mármores) apresentaram Aß > 41%, duas das maiores para o conjunto analisado. Para rochas dolomíticas puras Reeder; Markgraf (1986, in: SIEGESMUND et al., 2000) apresentaram modelos de expansão térmica com valor mínimo de 11,9 10^{-6} K^{-1}, máximo de 13,8.10^{-6} K^{-1} e anisotropia de 0,862 (13,8%). Os diagramas de pólos de eixo *c* de dolomita (Figura 8.1, página 111) mostram padrões romboédricos para ambas as amostras, sendo que EX (com foliação pouco mais evidente que CM) exibe alguma concentração no eixo *z*. Para as duas rochas os maiores valores de dilatação térmica são perpendiculares ao plano da foliação (*xy*) e os menores valores de dilatação, eixo *x* para CM e eixos *x* e *y* para EX (Figura 9.3, página 126), são ortogonais ou sub-ortogonais ao sistema de microfissuras (Figura 7.11, página 108). Os dados reunidos, embora não conclusivos, indicam que a Aß desses mármores está associada de alguma forma ao sistema de fissuras intergranulares observável nos planos *xz* (Figura 10.6). A

análise desse comportamento poderá ser abordada em trabalhos futuros envolvendo detalhamento da orientação do microfissuramento e verificações laboratoriais.

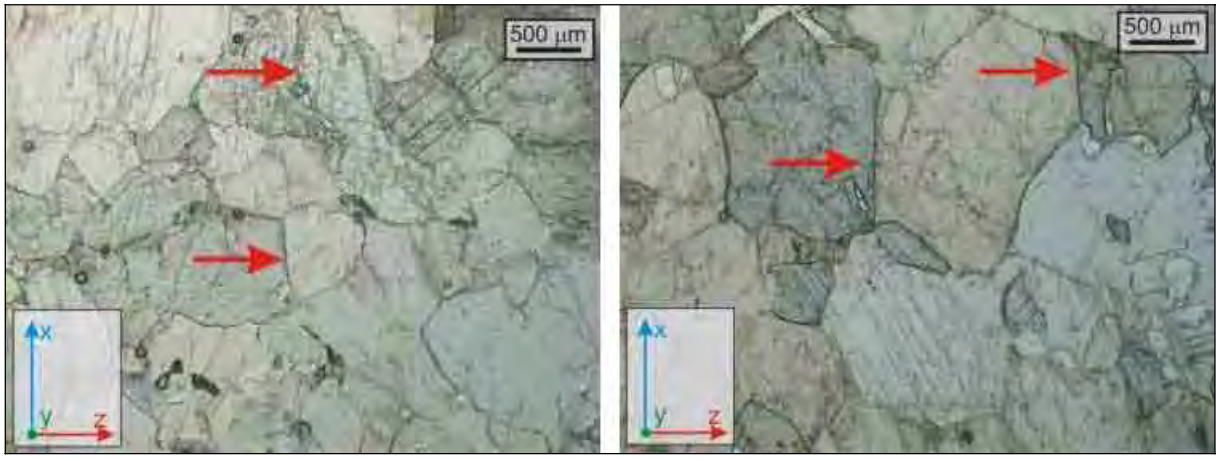


Figura 10.6: Sistema de microfissuras (setas vermelhas) observável no plano *xz* dos dolomita mármores Cintilante Mesclado - CM (esquerda) e Extra - EX (direita). (Polarizadores paralelos).

A análise de regressão para as demais rochas mostrou que a Aß apresenta correlação razoável com a intensidade de microfissuras (Figura 10.7). Considerando-se todas as rochas silicáticas obteve-se um coeficiente de correlação 54%, e apenas as rochas quartzo-feldspáticas 46%. Salienta-se que as correlações obtidas para porosidade e ßmédio são inversamente proporcionais (Figura 9.5, página 128) enquanto a Aß é diretamente proporcional à intensidade de microfissuras.

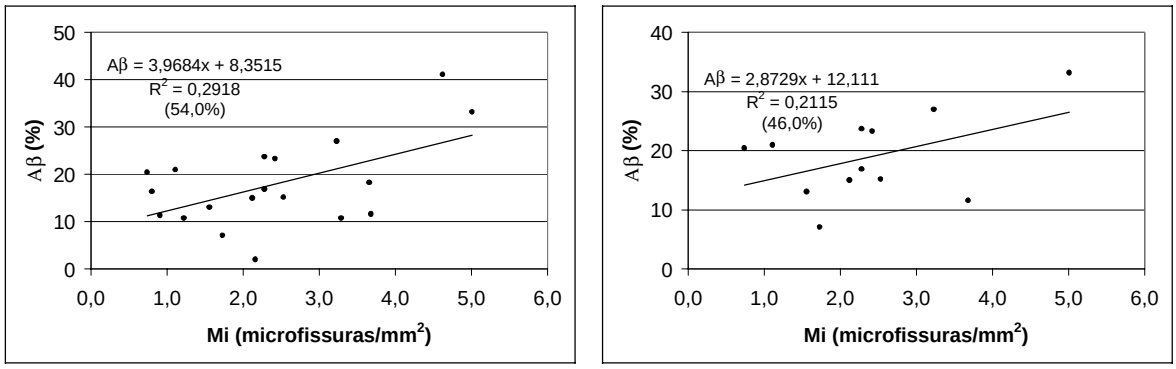


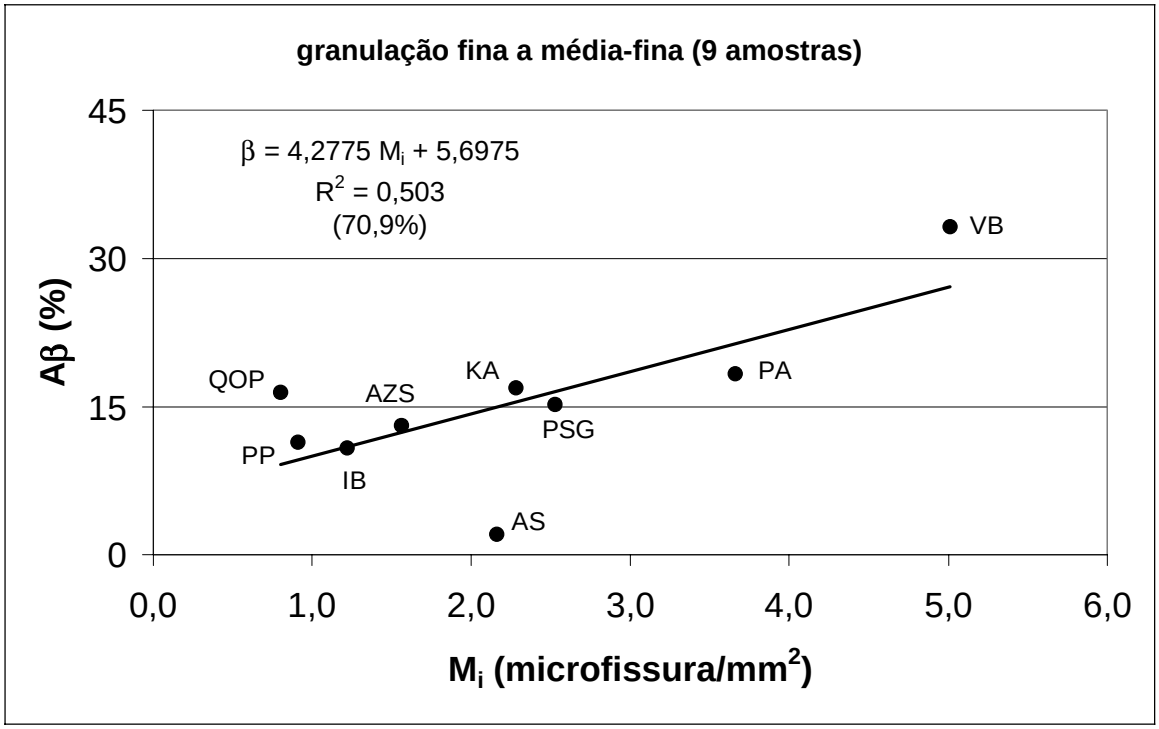
Figura 10.7: Regressão linear entre anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (Aß) e intensidade de microfissuras (Mi) para todas as rochas silicáticas (à esquerda) e para as rochas quartzo-feldspáticas (à direita).

Numa avaliação mais refinada desses dois parâmetros observa-se que a granulação também exerce algum controle sobre a anisotropia (Tabela 10.1), de maneira que as rochas estudadas com granulação fina e média-fina apresentam um controle maior da anisotropia pelo microfissuramento, do que aquelas com granulação acima de média (Figura 10.8).

Tabela 10.1: Comparação entre classes de intensidade de microfissuramento e de alteração, médias de coeficiente de dilatação térmica, anisotropia à dilatação e granulação média para as rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas.

	rocha	classe *	ß	Aß	fina	média-fina	média	média-grossa	grossa
Carbonáticas	CM	III (A)	7,56	41,1	———	———			
	EX	III (A)	7,00	45,6		———	———		
Quartzosas	AS	II (A)	10,1	2,0	———				
	IB	II (A)	9,48	10,8	———	———			
	QOP	I (A)	8,12	16,4	———				
Feldspáticas	MCF	IV (C)	4,99	41,2			———	———	
	MCD	III (C)	3,5	10,8			———		
	PA	III (A)	5,39	18,3		———			
	PP	I (B)	4,38	11,4	———	———	———		
Quartzo-feldspáticas	AF	II (B)	6,63	21,0			———	———	———
	AZS	II (C)	5,65	13,1	———	———	———		
	JR	II (B)	5,41	15,0			———		
	KA	II (B)	5,34	16,9	———	———			
	PSG	III (A)	7,26	15,2		———	———		
	RI	I (C)	6,62	20,5		———	———	———	
	VB	IV (C)	5,30	33,2	———	———	———		
	VCB	III (C)	5,88	11,6		———	———		
	VCM	II (A)	5,17	7,1	———	———	———	———	
	VCD	II (B)	5,39	23,3			———		
	VM	III (A)	4,82	27,0		———	———		
	VV	II (A)	6,49	23,7			———	———	

* Classes de intensidade de microfissuras e alteração mineral (entre parênteses) conforme Tabela 7.1.
ß: coeficiente de dilatação térmica linear (mm/mºC); Aß: anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (%); Classes de granulação: fina <1mm; média-fina 1mm a 3mm; média 3mm a 7mm; média-grossa: 7mm a 10mm; grossa >10mm.



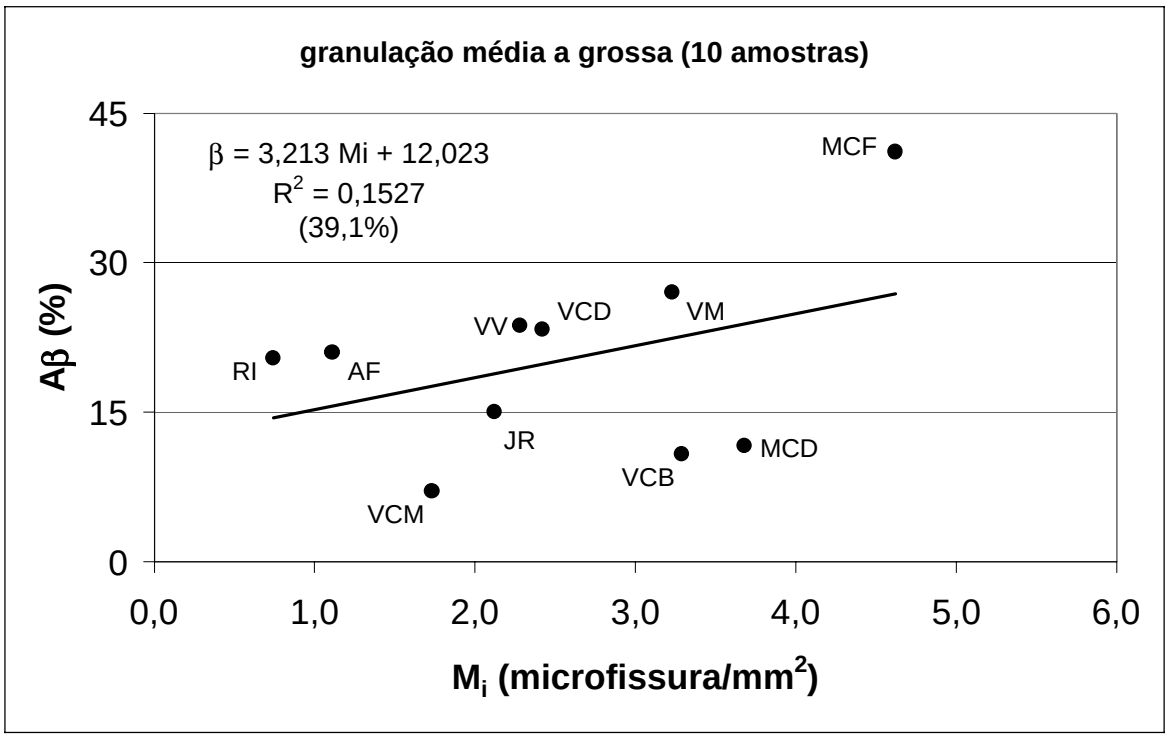


Figura 10.8: Regressão linear entre anisotropia do coeficiente de dilatação térmica (Aß) e intensidade de microfissuras (Mi) para as rochas com predomínio de granulação fina a média-fina (acima) e média a grossa (abaixo).

Para as rochas quartzosas (AS, IB e QOP) os baixos valores de anisotropia podem ser atribuídos à combinação de fatores como granulação, baixo microfissuramento e baixa orientação preferencial dos minerais, a despeito da foliação em alguns casos.

O Arenito Silicificado (AS), com Aß = 2% apresenta grãos de quartzo aleatoriamente distribuídos (sem orientação preferencial), devido à sua natureza sedimentar, e cimentados por sílica, que contribui para que a rocha seja mais homogênea enquanto meio condutor de calor e minimizando a influência do acamamento sedimentar.

O quartzito Imperial Blue (IB), com Aß = 10,8% mostra foliação marcada pela isorientação das micas presentes e o contorno sedimentar dos grãos de quartzo atesta que o metamorfismo não foi suficiente para orientar preferencialmente os grãos de quartzo, conforme o estereograma da Figura 8.3, página 113. Desse modo, para esse caso, a foliação constitui o plano de anisotropia evidente, que marca uma descontinuidade física (Figura 10.9) e faz com que a dilatação ortogonal a esse plano (paralela ao eixo *z*) seja ligeiramente menor que as demais.

Para o Quartzito Ouro Preto - QOP (Aß = 16,4%) verificou-se uma discreta orientação preferencial do eixo cristalográfico *c* do quartzo com os eixos *x* e *z* do sistema adotado e posições intermediárias entre esses (Figura 8.3, página 113), o que pode explicar o acréscimo de aproximadamente 1,0 $x10^{-3}$ mm/mºC na dilatação que esses eixos apresentam em relação ao eixo *y*. A menor velocidade obtida em *y* também pode ter influência do sistema do microfissuramento ortogonal a esse eixo (Figura 7.11, página 108).

No grupo das rochas feldspáticas o sienito Marrom Café Imperial - MCF exibe Aß=41,2%, um reflexo da forte orientação cristalográfica preferencial do ortoclásio, a qual é condicionada pelo fluxo magmático planar (Figura 8.4, página 115). Em contraste a rocha Marrom Caldas - MCD, semelhante em composição, mas sem distribuição preferencial do ortoclásio, devido à (fraca) foliação de fluxo (na maioria das vezes) do tipo convoluta, apresenta anisotropia bem menor (Aß = 10,8%).

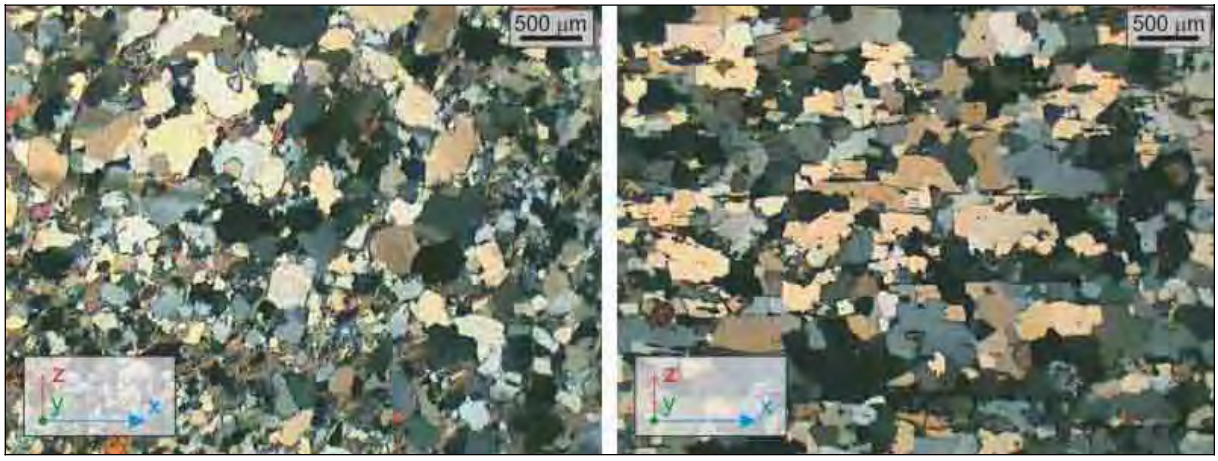


Figura 10.9: Evidência da descontinuidade planar pela foliação (observada no plano *xz*) dos quartzitos Imperial Blue - IB (esquerda) e Quartzito Ouro Preto - QOP (direita). (Polarizadores cruzados).

As outras duas rochas desse grupo, Preto Apiaí - PA (grabronorito) e Preto Piracaia - PP (monzonito), apresentam anisotropia baixa, respectivamente, 18,3% e 11,8%, devido principalmente à ausência de orientação mineral. Deve-se notar que a discreta foliação de PP, de natureza tectônica, confere pequena orientação dos eixos cristalográficos *a* ou *b* do plagioclásio paralelamente ao eixo *z* (Figura 8.5, página 116), que explica a dilatação ligeiramente menor nesse sentido (Figura 9.3, página 126).

No grupo das rochas quartzo-feldspáticas a anisotropia variou de 7,1 % (VCM) a 33,2 % (VB). Organizadas em ordem crescente de Aß tem-se a seqüência:

VCM ? VCB ? AZS ? JR ? PSG ? KA ? RI ? AF ? VCD ? VV ? VM ? VB
(7,1 ? 11,6 ? 13,1 ? 15,0 ? 15,2 ? 16,9 ? 20,5 ? 21,0 ? 23,3 ? 23,7 ? 27,0 ? 33,2)

Conforme discutido no Capítulo 9, foram adotadas três classes de Aß: baixa (<15%), média (15% a 30%) e alta >30%.

As amostras VCM, VCB e AZS, todas com baixa Aß, exibem texturas e estruturas muito diferentes entre si. A granulação de VCM varia amplamente, de fina a média-grossa com predomínio de média (Figura 6.7, página 73), de VCB é média, localmente fina, (Figura 6.8, página 75), e AZS caracteriza-se por matriz milonítica fina envolvendo fenocristais de granulação média a média-grossa que perfazem cerca de 15% da rocha (Figura 6.6, página 71). VCB apresenta estrutura compacta, VCM nebulítica a discretamente foliada e AZS forte foliação. Contudo em nenhum dos casos observou-se orientação preferencial dos minerais presentes (Figuras 8.8 e 8.6 páginas 119 e 117, respectivamente) o que pode explicar a baixa Aß verificada. Note-se que ß determinado no eixo *z* é menor para as rochas VCB e VCM (Figura 9.3, página 126), provavelmente devido aos sistemas de microfissuras ortogonais a esse eixo (Figura 7.2, página 109).

As rochas com Aß média (JR, PSG, KA, RI, AF, VCD, VV e VM) também exibem texturas e estruturas variadas. Entre essas oito rochas AF, VV e VM são as que apresentam foliação mais facilmente reconhecível, entretanto com diferentes intensidades, penetratividade e espaçamento. AF, por apresentar maior teor de biotita exibe planos mais definidos de foliação (do tipo anastomosada e protomilonítica), que confere algum paralelismo dos eixos *b* dos feldspatos, e *a* da biotita com o eixo *y* do sistema adotado com maior ß (Figura 9.3, página 126). O quartzo exibe orientação paralela aos eixos *x* e *y* pouco evidente (Figura 8.6, página 117). A Aß em VM e VV pode ser explicada pela orientação preferencial do eixo *c* do quartzo paralelamente aos eixos *y* e *z* do sistema adotado, respectivamente (Figura 8.9, página 120).

A Aß dos tipos PSG e VCD, ambos com foliação discreta, deve-se a valores de ß semelhantes para os eixos *x* e *y*, e menores para o eixo *z* (Figura 9.3, página 126). Acredita-se que nessas duas rochas os sistemas de microfissuras mais ou menos ortogonais ao eixo *z* (Figura 7.12, página 109), combinado à orientação preferencial do eixo *c* de quartzo com algum paralelismo com os eixos *x* e *y* (Figuras 8.7 e 8.8, páginas 118 e 119), expliquem a maior ß nesses eixos.

Em RI, a Aß deve-se aos valores de ß semelhantes para os eixos *x* e *y*, que são cerca de $1{,}0.10^{-3}$mm/mºC menor que aquele obtido para o eixo *z* (Figura 9.3, página 126). O microfissuramento exibe padrão complexo e não apresenta ortogonalidade com o sistema *xyz* adotado (Figura 7.12, página 109), por outro lado, a foliação de fluxo magmático (Figura 8.10, página 121) confere certa isorientação aos feldspatos que pode explicar a Aß observada.

As rochas JR e KA têm Aß semelhantes e próximas ao limite entre baixa e média adotado. Em JR os valores de ß em *x* e *y* são semelhantes e maiores que em *z*, enquanto KA apresenta valores semelhantes para *x* e *z* são semelhantes e maiores que em *y*. Para JR atribuí-se a menor dilatação do eixo *z* à descontinuidade causada pelo plano da foliação (relativamente evidente) e do microfissuramento associado (Figura 7.12, página 109). Embora a foliação seja facilmente reconhecida não há orientações cristalográficas preferências (Figura 8.6, página 117). A amostra KA tem foliação pouco evidente e devido ao aspecto granular dos minerais presentes não se observou orientações cristalográficas nítidas, apenas ligeira tendência de paralelismo do eixo *c* do quartzo com os eixos *x* e *y*.

Entre as quartzo-feldspáticas a amostra VB foi a única que apresentou Aß> 30%, com ß*x* > ß*y* > ß*z*. Os dados reunidos não permitiram explicar esse comportamento, que pode estar associado ao complexo microfissuramento e/ou tipos de contatos presentes (Figura 10.10), uma vez que não há orientações preferenciais dos minerais que justifiquem essa anisotropia.

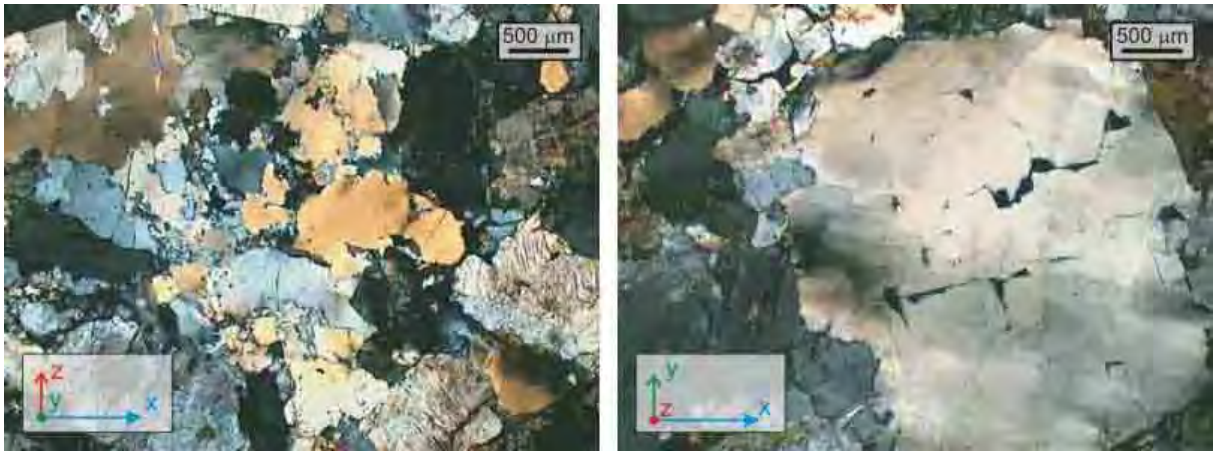


Figura 10.10: Contatos serrilhados e côncavo-convexos (esquerda) e microfissuramento em fenocristal de quartzo (direta) do granito Vermelho Bragança - VB. (Polarizadores cruzados).

Os dados coligidos para dilatação e a anisotropia avaliada mostram que a presença de uma estrutura planar macroscopicamente visível, seja foliação ou acamamento sedimentar, não resulta necessariamente em alta anisotropia, ao menos para os 21 tipos estudados.

Como exemplos citam-se as rochas quartzosas AS, IB e QOP, as quartzo-feldspáticas AZS, AF e VV, ambas com foliação evidente, mas com anisotropia baixa. Por outro lado a combinação de foliação e orientação mineral por forma, como a observada no sienito Marrom Café Imperial – MCF, e menos evidente no Verde Maritaca – VM e Verde Veneciano – VV, podem causar anisotropia considerável à dilatação térmica. A influência do microfissuramento não foi claramente entendida para a anisotropia da dilatação que aumenta com a intensidade deste. Por outro lado o coeficiente de dilatação será menor quanto maior a intensidade. Destaca-se que a disposição dos sistemas de microfissuras e as relações entre esses representam complicadores para o estudo da anisotropia à dilatação, como observado no Vermelho Bragança – VB, sendo desejável a realização de estudos direcionados a essa problemática.

10.2. Anisotropia da Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência à compressão é uma propriedade física volumétrica definida pela tensão, ou seja, corresponde à razão entre força aplicada e unidade de área (WITTHAKER et al., 1992). A presença de descontinuidades físicas definidas por estruturas planares nas rochas, como foliações e acamamentos sedimentares constituem importantes elementos que geralmente afetam a resistência da rocha, dependendo da direção de aplicação do esforço (ATTEWELL; FARMER, 1976; FRAZÃO, 2002), o que faz com que a resistência à compressão apresente anisotropia. Da mesma forma rochas com granulação grossa e/ou mais microfissuras deverão apresentar menor resistência mecânica que aquelas de granulação fina e/ou menos fissuradas (VUTUKURI et al., 1974). Outros parâmetros devem ser considerados como a composição, o grau de alteração, a presença e distribuição de clivagens minerais.

Considerando-se tais premissas e o contexto deste trabalho, espera-se que qualquer rocha com foliação bem marcada (boa penetratividade segundo o critério de PASSCHIER; TROUW, 1996) quando submetida à compressão paralelamente ao eixo *z* do sistema adotado (eixo de compressão ortogonal à foliação) apresente maior resistência do que quando comprimida paralelamente aos eixos *x* e *y*. Rochas sem foliação ou com foliação discreta devem apresentar resistência à compressão muito semelhante para os três eixos (baixa

anisotropia). Esse cenário pode, obviamente, ser complicado pelos diferentes sistemas de microfissuras presentes.

Utilizando análise discriminante (com o algoritmo *backward stepwise* do programa Statistica®) foram gerados gráficos com as variáveis resistência à compressão, porosidade e Vp, considerando agrupamentos por tipo de rocha e por eixos do sistema de referência adotado. O resultado permitiu constatar que a mineralogia essencial é um elemento agrupador de importância restrita para o conjunto analisado (Figura 10.11 A), enquanto os eixos adotados não representam para essas rochas um fator de distinção entre os valores de compressão obtidos (Figura 10.11 B), contrariamente do que se pode esperar uma vez que a presença da foliação e os elementos que a compõem (lineação mineral) definem o sistema de referência *xyz* adotado.

Considerando a granulação relativa e as classes de granulação adotadas como variável de agrupamento (Figuras 10.11 C e D) nota-se que não há individualização das rochas estudadas sob os aspectos texturais considerados (com exceção dos mármores).

Utilizando análise de regressão linear com determinação do coeficiente de correlação de Pearson constatou-se que os parâmetros composicionais, de alteração mineral e microfissuramento quantificados não mostraram correlação significativa com a tensão média na condição seca (Tabela 10.2) e saturada (Tabela 10.3), exceto para a porcentagem de quartzo, que aparece com R mais alto em ambos os casos.

Tabela 10.2: Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis petrográficas e a resistência à compressão uniaxial na condição seca.

	s_{seca}	Mi	Mc	Aw	% Qz	% Fk	% Plag	% micas
s_{seca}	1							
Mi	0,085856	1						
Mc	-0,38863	0,10191	1					
Aw	0,01542	0,40171	0,302	1				
% Qz	0,428964	-0,4208	-0,26	-0,235	1			
% Fk	0,10378	0,2232	0,122	0,6867	-0,12	1		
% Plag	0,272998	-0,0477	0,277	-0,23	0,07	-0,35905	1	
% micas	0,036932	-0,582	-0,24	-0,094	0,09	-0,08317	0,245	1

s_{seca} = tensão de compressão média na condição seca; Mi = intensidade de microfissuras/mm^2; Mc = comprimento médio de microfissuras (µm); Aw = alteração mineral em porcentagem de área; % Qz = porcentagem modal de quartzo; % FK = porcentagem modal de feldspato potássico; %Plag = porcentagem modal de plagioclásio e % micas = porcentagem modal total de micas.

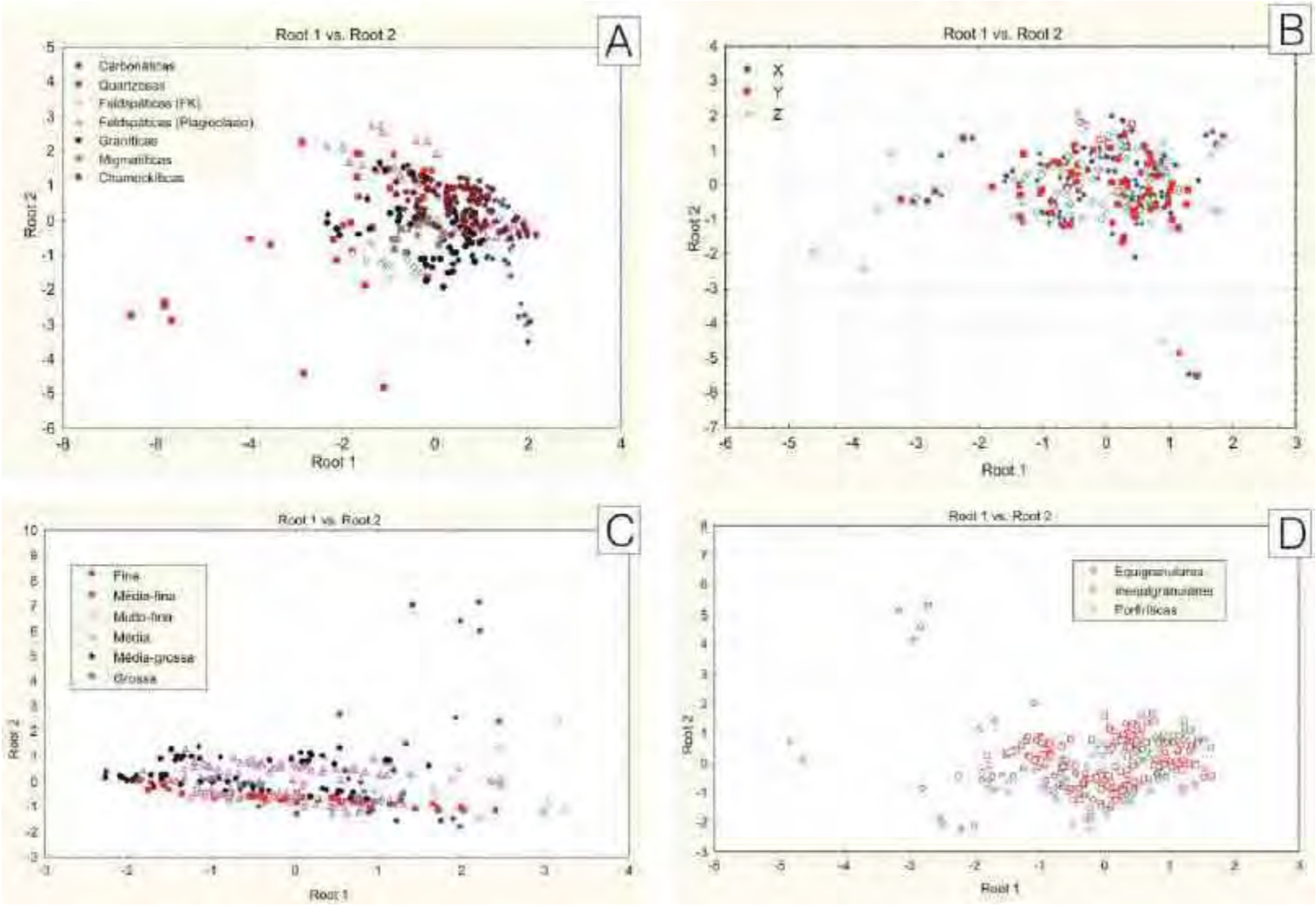


Figura 10.11: Análise discriminante para as rochas estudadas, considerando as variáveis resistência à compressão na condição seca, Vp e porosidade. A) Agrupamento por grupo litológico; B) Agrupamento por eixos de anisotropia do sistema de referência *xyz*; C) Agrupamento por classe de granulação; D) Agrupamento por granulação relativa.

Tabela 10.3: Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis petrográficas e a resistência à compressão uniaxial na condição saturado.

	$s_{saturado}$	Mi	Mc	Aw	% Qz	% FK	% Plag	% micas
$s_{saturado}$	1							
Mi	0,030297	1						
Mc	-0,53313	0,10191	1					
Aw	-0,1191	0,40171	0,302	1				
% Qz	0,452409	-0,4208	-0,26	-0,235	1			
% FK	-0,00259	0,2232	0,122	0,6867	-0,12	1		
% Plag	0,201641	-0,0477	0,277	-0,23	0,07	-0,35905	1	
% micas	-0,12735	-0,582	-0,24	-0,094	0,09	-0,08317	0,245	1

$s_{saturado}$ = tensão de compressão média na condição saturada em água; Mi = intensidade de microfissuras/mm^2; Mc = comprimento médio de microfissuras (μm); Aw = alteração mineral em porcentagem de área; % Qz = porcentagem modal de quartzo; % FK = porcentagem modal de feldspato potássico; %Plag = porcentagem modal de plagioclásio e % micas = porcentagem modal total de micas.

Deve-se considerar também que a variabilidade das características texturais e estruturais do conjunto é ampla especialmente para as rochas com granulação variável (AF, AZS, VCM, VCD e VV por exemplo). Essa característica natural das rochas dificulta a representatividade nos ensaios mecânicos exigindo número maior de corpos-de-prova e para alguns casos dimensões maiores também.

Organizando as rochas graníticas da menos resistente para a mais resistente tem-se a seqüência: RI, KA, VCB, JR e VB, resultante da interação entre granulação e o maior ou menor imbricamento mineral que apresentam (Figura 10.12). Destaca-se que entre essas rochas as de granulação mais grossa e com discretas orientações são o RI e o KA, este último também com granadas bastante fraturadas; o VCB com granulação média a média-fina e compacto; JR (um migmatito de composição granítica na porção nebulítica) com granulação predominantemente média, variações para termos finos e grossos e moderado a intenso microfissuramento; o VB apresenta esparsos fenocristais e matriz fina a média.

Conforme já apresentado a anisotropia à compressão (As) para as rochas ensaiadas nas condições seca e saturada variou consideravelmente para as rochas estudadas (Figura 9.12, página 139). Apenas as rochas AS, MCD, AZS, VCB e VCM apresentaram As saturada semelhante àquela obtida na condição seca. Para as amostras CM, MCF, KA, PSG, VCD, VM e VV As saturada foi menor que a seca, e para as amostras EX, IB, QOP, PA, PP, AF, JR, RI e VB As saturada foi maior que a seca.

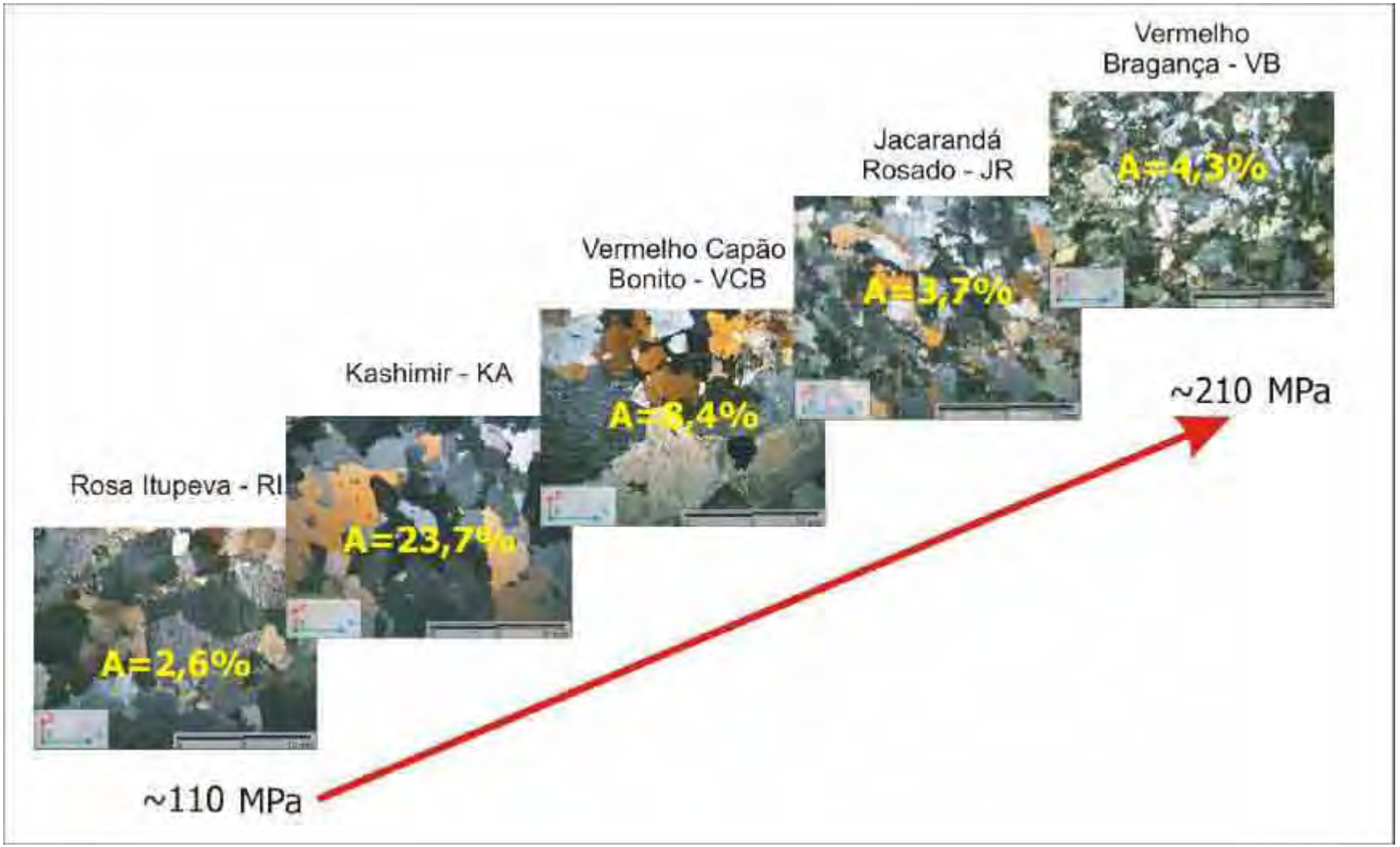


Figura 10.12: Fotomicrografias (polarizadores cruzados) de algumas das rochas quartzo-feldspáticas estudadas representando o aumento da resistência à compressão em função da diminuição da granulação e do aumento do imbricamento mineral. As está em amarelo (A).

Esse comportamento não está claro, mas acredita-se que esteja relacionado ao sistema de microfissuras dessas rochas, envolvendo a comunicabilidade dos planos e o predomínio ou não de fissuras intergranulares. Em determinadas situações a água atuaria mais intensamente para a diminuição da resistência do que em outras, devido à maior comunicação entre as famílias. São afirmações de caráter especulativo e essa problemática deve ser abordada em estudos futuros com metodologia direcionada.

Para efeitos deste trabalho considerou-se apenas a As determinada em corpos-de-prova na condição seca para os quatro grupos estudados.

No caso das rochas carbonáticas a tensão média e a As das duas amostras estudadas pode ser explicada, comparativamente, pela granulação mais fina da rocha CM e pela foliação ligeiramente mais evidente que apresenta em relação à EX. Entretanto não fica claro por que a As em condição saturada diminui para CM e aumenta para EX com relação à condição seca.

A As das rochas silicáticas mostra comportamento interessante com relação à intensidade de microfissuramento (Tabela 10.4). No conjunto de rochas estudado observou-se que para aquelas com granulação fina a média-fina a relação entre esses parâmetros é inversamente proporcional enquanto para as rochas com granulação média a grossa é diretamente proporcional. Em ambos os casos foram obtidos bons coeficientes de correlação (Figura 10.13). Entretanto deve-se mencionar que a despeito desses coeficientes a As parece ser mais afetada pela presença e intensidade de estruturas planares do que pela granulação e microfissuramento, embora ajam exceções.

A importância da foliação é mais facilmente percebida entre as rochas quartzosas AS, IB, QOP. A As aumenta da sedimentar AS (8,9%) para as metamórficas IB (13,9%) e QOP (17,3%), este último um quartzito foliado com bom desplacamento plano-paralelo (correspondente ao plano *xy*). As famílias de microfissuras preferenciais observadas nessas três rochas são mais ortogonais entre si quanto mais evidente a foliação (concomitante ao grau metamórfico), favorecendo o aumento da As (Figura 7.9, página 98).

As rochas feldspáticas PA e PP com granulação fina a média-fina exibem baixa As (cerca de 10 %). PP exibe foliação discreta enquanto PA não apresenta foliação perceptível, explicando assim a As pouco maior da primeira. Deve-se salientar que a despeito da ausência de foliação de PA, observou-se um sistema de microfissuras com orientação geral paralelo ao plano *xy* (Figura 7.11, página 108), informalmente denominado na mina como “corrida”.

Tabela 10.4: Comparação entre classes de intensidade de microfissuramento e de alteração, médias de tensão de compressão, anisotropia à compressão em condição seca e granulação para as rochas carbonáticas, quartzosas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas.

rocha		classe *	s	As seca	fina	média-fina	média	média-grossa	grossa
Carbonáticas	CM	III (A)	102,0	20,0	———	———			
	EX	III (A)	69,7	6,7		———	———		
Quartzosas	AS	II (A)	179,2	8,9	———				
	IB	II (A)	206,6	13,9	———	———			
	QOP	I (A)	202,4	17,3	———				
Feldspáticas	MCD	III (C)	157,4	17,5			———		
	MCF	IV (C)	131,7	27,2			———	———	
	PA	III (A)	225,8	9,7		———			
	PP	I (B)	120,3	12,4	———	———	———		
Quartzo-feldspáticas	AF	II (B)	179,0	5,5			———	———	———
	AZS	II (C)	203,0	40,2	———	———	———		
	JR	II (B)	157,6	3,7			———		
	KA	II (B)	115,7	23,7	———	———			
	PSG	III (A)	111,8	18,3		———	———		
	RI	I (C)	111,1	2,6		———	———	———	
	VB	IV (C)	212,1	4,3	———	———	———		
	VCB	III (C)	130,0	8,4		———	———		
	VCD	II (B)	165,7	12,8	———	———	———	———	
	VCM	II (A)	168,8	10,9			———		
	VM	III (A)	173,4	13,1		———	———		
	VV	II (A)	92,9	17,1			———	———	

* Classes de intensidade de microfissuras e alteração mineral (entre parênteses) conforme Tabela 7.1.
s : tensão de compressão na condição seca (MPa); As : anisotropia da resistência à compressão na condição seca (%); Classes de granulação: fina <1mm; média-fina 1mm a 3mm; média 3mm a 7mm; média-grossa: 7mm a 10mm; grossa >10mm.

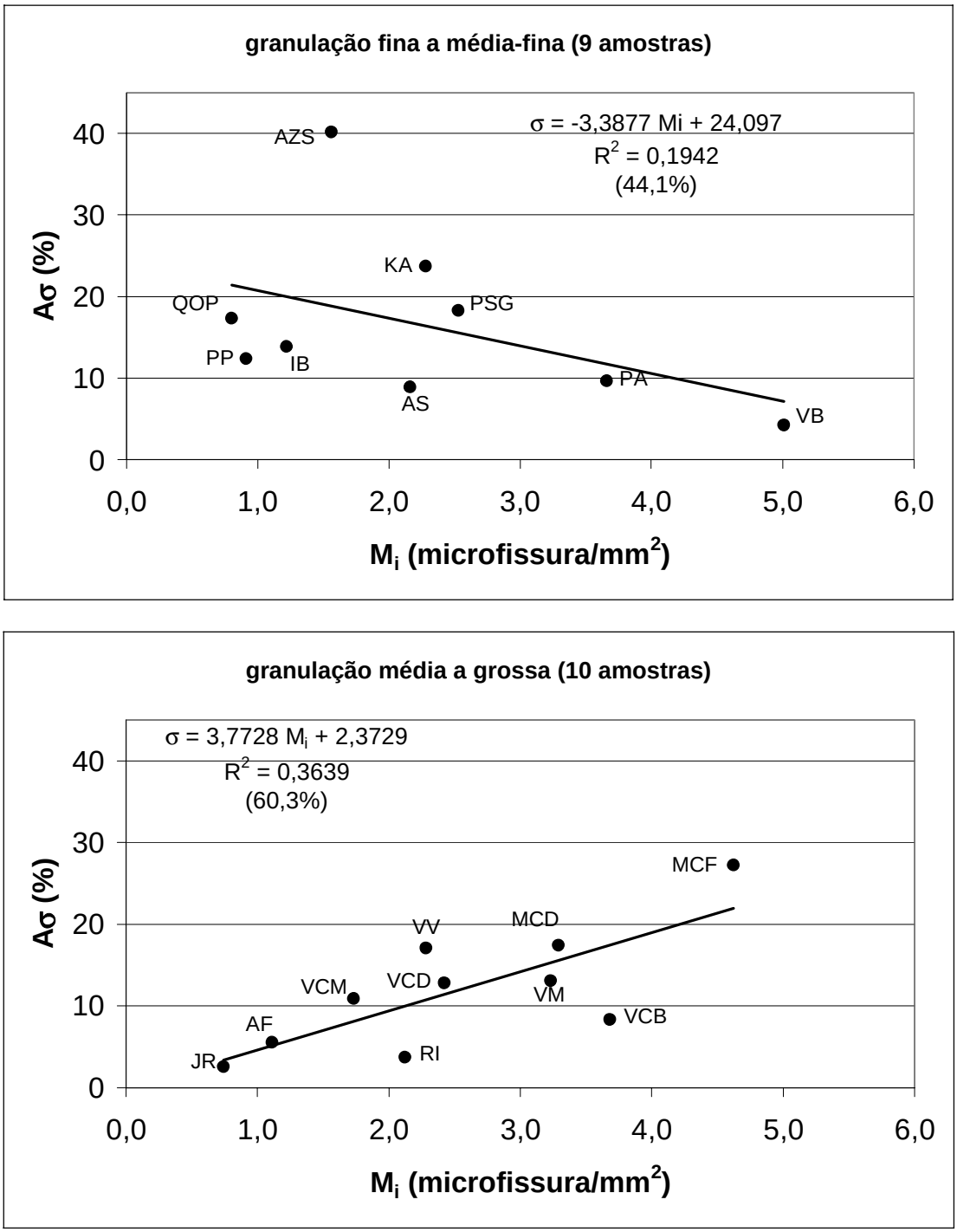


Figura 10.13: Anisotropia da resistência (em condição seca) para as das rochas silicáticas de granulação fina e média-fina (acima) e granulação média a grossa (abaixo).

Dente as rochas quartzo-feldspáticas com granulação fina a média-fina (Figura 10.13), o tipo AZS com foliação bem mercada por planos penetrativos facilmente reconhecidos, apresenta a maior As observada (40,2%), opondo-se a VB, com estrutura compacta (sem foliação) e As de apenas 4,3 %. Com As intermediária aparecem PSG (18,3 %) e KA (23,7 %). A foliação em PSG é discreta e pouco perceptível em lâmina mas não em amostras

de mão e grandes volumes, enquanto KA não exibe orientação planar definida, apenas alguns minerais ligeiramente alongados no sentido da foliação (Figura 10.14). O padrão do microfissuramento dessas quatro amostras é bastante distinto, mas nota-se claramente que a AZS e PSG exibem um sistema com característica ortorrômbica mais definida do que KA e VB (Figura 7.12, página 109).

Figura 10.14: Fotomicrografias em lupa petrográfica (polarizadores cruzados) mostrando a fraca orientação mineral preferencial do tipo Kashimir – KA (à esquerda) e a foliação pouco evidente do tipo Preto São Gabriel – PSG (à direita).

Dentre as rochas com granulação média a média-grossa (Figura 10.13) os dois sienitos estudados respondem pelas anisotropias mais altas. MCF apresenta menor resistência mecânica que seu semelhante MCD, e maior As (27,2 %), principalmente devido à sua marcante estrutura de fluxo plástico, definida pela justaposição de cristais tabulares alongados de feldspato potássico que confere contatos minerais planares, bem como pela sua granulação nitidamente mais desenvolvida (Figura 6.5, página 63).

As quatro rochas com características charnockíticas estudadas apresentaram As num estreito intervalo de 10 % a 17 %, o que se deve em primeira instância à foliação pouco desenvolvida que apresentam (com exceção para VV). Nas rochas VCD, VCM e VM a distribuição das famílias de microfissuras é bastante semelhante e muito próximo ao padrão romboédrico, justificando a As verificada.

As demais rochas, AF, JR, RI e VCB exibiram As baixa (< 10 %). Para os granitos RI e VCB, a estrutura compacta que apresentam justificam a As verificada, destacando-se que o tipo VCB, tal qual PA, mostrou um sistema de fissuras paralelo ao plano *xy* (“corrida”).

As rochas AF e JR exibem foliação bem marcada, porém com uma das mais baixas As das amostras estudadas (5,5 % e 3,7 %, respectivamente). Atribuí-se esse comportamento aos

tipos de contato presentes nessas rochas, predominantemente côncavo-convexos e lobulados (Figura 10.15). A ausência, quase total, de contatos planos contribui para que não se forme descontinuidades planares como aquela observada nas amostras AZS e MCF.

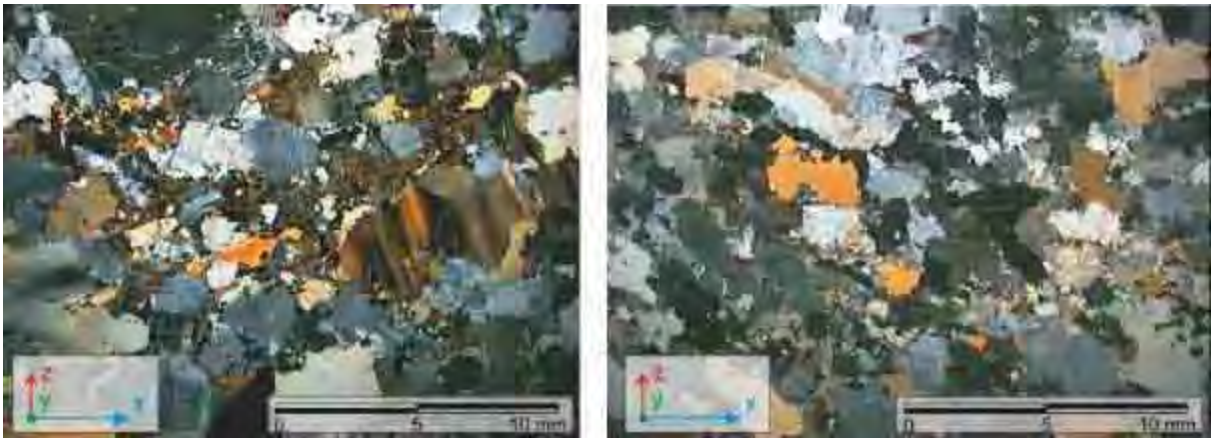


Figura 10.15: Fotomicrografias em lupa petrográfica (polarizadores cruzados) evidenciando a baixa orientação preferencial mineral no tipo Azul Fantástico – AF (à esquerda) e a foliação do tipo Jacarandá Rosado – JR (à direita).

Adicionalmente deve-se considerar que a baixa As de AF pode estar ligada à alta variabilidade dos dados de compressão comumente encontrada em rochas com texturas porfiríticas. No presente caso os elevados teores de megacristais com dimensões centimétricas inseridos em matriz de granulação média a grossa e a foliação protomilonítica e anastomosada, também constitui um fator de alta variabilidade para os dados mecânicos.

10.3. Comentários Adicionais

A finalidade da determinação das propriedades tecnológicas em rochas destinadas ao uso em construção civil, conforme já comentado, é fornecer subsídios mínimos que permitam dimensioná-las ao uso pretendido e proporcionar durabilidade aceitável à obra. As atuais normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para determinação da resistência à compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais e para revestimento consideram as estruturas presentes em rochas, mas recomendam a apresentação dos valores médios dessas propriedades determinadas em direção paralela e ortogonal à estrutura, representando, portanto, de forma inadequada sua variabilidade.

A determinação da anisotropia pode ser uma informação adicional muito útil para a fase de projeto, mas requer ainda intenso desenvolvimento. Contudo, é uma abordagem

particularmente interessante para o estudo dos mecanismos de degradação mecânica de rochas, conforme diversos artigos recentes da literatura internacional

A dilatação e contração por variações térmicas, por exemplo, é um fenômeno físico que confere a geração de tensões internas nos materiais, cujos eventos alternados ao longo do tempo, podem acarretar fadiga dos contatos minerais evoluindo para o microfissuramento intra e intergranular e culminando em perda de coesão mecânica e decaimento da resistência original. Quanto maior a anisotropia dessa propriedade, maior a indução de tensões e maior a probabilidade de degradação da rocha.

Espera-se que rochas com estruturas planares (foliações; acamamentos) tenham maior variabilidade de suas propriedades em função da direção (ao menos aquelas aqui consideradas), ou seja, alta anisotropia. Entretanto a integração e discussão acima para os dados petrográficos e tecnológicos coligidos, permitiu constatar que a presença de estruturas planares nas rochas (genericamente representadas pelo plano *xy* do sistema de coordenadas adotado) não representa necessariamente um fator causador da anisotropia das propriedades físicas e mecânicas estudadas. Da mesma forma, em casos isolados, constatou-se que rochas com estrutura compacta (sem foliação) podem apresentar anisotropia relativamente alta. A Figura 10.16 procura sintetizar essas informações.

Características como granulação, contatos minerais e microfissuramento podem causar anisotropia das propriedades estudadas, ou mascarar a anisotropia supostamente imposta por estruturas planares originadas por processos geológicos de qualquer natureza (sedimentar, magmática ou metamórfica), conforme comentado. Com os dados coligidos não foi possível compreender tais relações, especialmente para as rochas poliminerálicas.

Os dados apresentados não são conclusivos, mas a abordagem de metodologias laboratoriais que considerem a determinação da anisotropia e sua adequada representação em relatórios de ensaio deve ser considerada em trabalhos futuros, uma vez que podem contribuir para a análise da durabilidade das rochas.

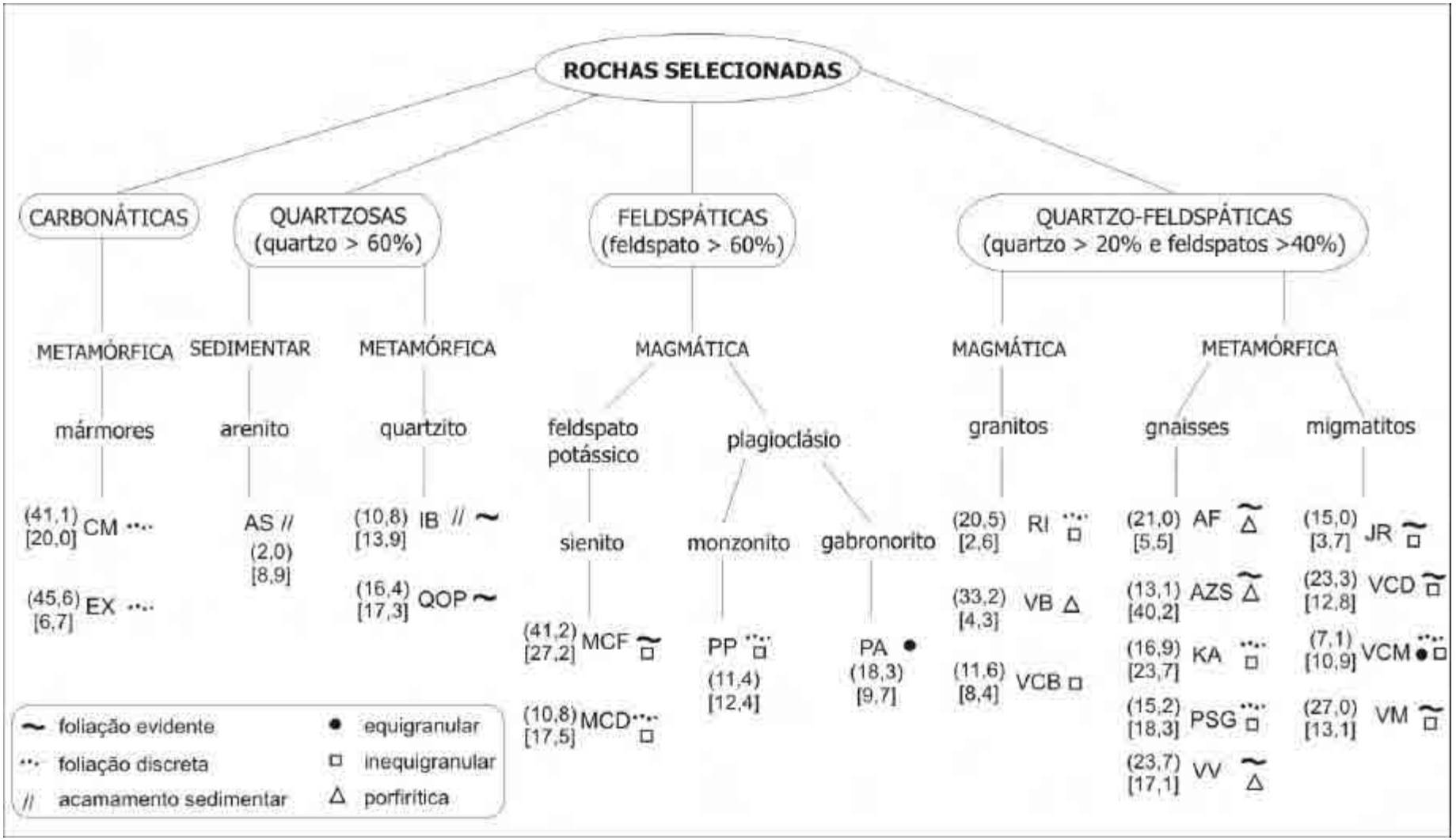


Figura 10.16: Representação esquemática de algumas informações petrográficas (mineralogia essencial, granulação relativa e estruturas presentes) dos grupos de rochas estudadas e das anisotropias do coeficiente de dilatação térmica linear, entre ( ), e da resistência à compressão na condição seca, entre [ ]. As siglas das amostras estão na Tabela 5.1.

CAPÍTULO 11

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Fundamentado em extenso conjunto de dados petrográficos e tecnológicos, em especial a resistência à compressão e o coeficiente de dilatação térmica, procurou-se discutir a influência de aspectos petrográficos sobre a anisotropia dessas propriedades em rochas de diferentes naturezas, utilizadas como material ornamental e revestimento.

A aplicação de um sistema de referência baseado em elementos macroscopicamente visíveis (foliação e lineação) ou o plano de menor resistência mecânica ("corrida") reconhecido empiricamente em mina, mostrou-se um critério válido para a abordagem da variabilidade direcional das propriedades da rocha, possibilitando relacionar as informações de ensaios tecnológicos com os dados petrográficos.

A análise dos dados coligidos utilizando estatística convencional (regressão linear simples) e multivariada (análise discriminante) não possibilitou reconhecer claramente a influência dos fatores intrínsecos (mineralogia, textura e estrutura) quantificados sobre a anisotropia das propriedades estudadas. Em muitos casos o entendimento do comportamento observado nos ensaios laboratoriais foi alcançado levando em conta as informações qualitativas fornecidas pela análise petrográfica.

O coeficiente de dilatação térmica linear mostrou boa correlação com a mineralógica essencial e seu teores. Para as rochas silicáticas observou-se que o aumento das porcentagens de quartzo e biotita causam aumento da dilatação e o aumento dos feldspatos, em especial os potássicos, causam diminuição da dilatação. Para as rochas estudadas a anisotropia do coeficiente de dilatação parece ser controlada primariamente pelas orientações cristalográficas preferenciais, especialmente aquelas com tendência monominerálica. A intensidade do microfissuramento mostrou correlação estatística relativamente alta com a anisotropia, mas seu significado e o mecanismo de atuação não ficaram claros com os dados coligidos. Fica

evidente uma linha de investigação para trabalhos futuros procurando avaliar o papel do microfissuramento e seus elementos para a anisotropia da dilatação térmica.

A resistência à compressão das rochas estudadas está relacionada ao tamanho médio dos grãos e aos tipos de contatos minerais predominantes, corroborando trabalhos clássicos da literatura. A anisotropia dessa propriedade é governada pela intensidade e penetratividade de estruturas planares (foliação), mas os contatos minerais e o microfissuramento podem reduzir ou aumentar a anisotropia, conforme verificado em alguns casos.

A presença de estruturas de planares para algumas das rochas estudadas não representa necessariamente variabilidade significativa das propriedades estudadas havendo influência do microfissuramento e dos contatos minerais, ainda não claramente entendida.

Nesse sentido o aprimoramento da técnica de análise de imagens visando à automação do processo de quantificação da intensidade e comprimento médio das microfissuras, associado ao estudo com platina universal da orientação preferencial dos sistemas presentes pode ser um caminho investigativo válido para levantar informações adicionais que permitam alcançar melhores conclusões sobre a influência do microfissuramento sobre a anisotropia das propriedades estudadas. Para tanto o estudo do microfissuramento deve ser considerada não apenas os parâmetros avaliados neste trabalho, mas também a comunicação das fissuras e apresentação de informações mais refinadas, como por exemplo, os dados de microfissuramento individualizados por espécie mineral, ao invés de valores médios para a rocha.

Por fim destaca-se que o presente trabalho, embora não conclusivo, contribuiu para melhoria do nível de informação e sugestão de métodos investigativos para abordagem da variação direcional (anisotropia) de propriedades de rochas ornamentais e para revestimento, assunto ainda muito pouco estudado e com grande potencial para o estudo de mecanismos de degradação física de rochas.

CAPÍTULO 12

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Rochas Ornamentais no Século XXI - Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Coordenador: Peiter et al. Rio de Janeiro/ABIROCHAS. 2001. 160p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - Análise petrográfica**. 3 p. (Norma ABNT - NBR 12768). 1992a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente; absorção d'água aparente.** 2 p. (norma ABNT-NBR 12766). 1992b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento – Determinação do coeficiente de dilatação térmica.** 3p. (norma ABNT-NBR 12765). 1992c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial.** 2p. (norma ABNT-NBR 12767). 1992d.

AIRES-BARROS, L. **Alteração e Alterabilidade de rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 1991. 384p.

ÅKESSON, U; STIGH, J.; LINDQVIST, J.E.; GÖRASSON, M..The INFLENCE of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy. **Engineering Geology**. v.68,p. 275-288. 2003.

ANDRIANI, G.F.; WALSH, N..Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: qualitative and quantitative e evaluations. **Engineering Geology**. v.67,p. 5-15. 2002.

ARTUR, A.C. **Complexo Granitóide Plurisserial Socorro**: Geologia, Petrologia; Recursos Minerais. 2003. 139p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-UNESP. Rio Claro, 2003.

ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; KAWASHITA, K. Geocronologia das unidades litoestratigráficas do embasamento cristalino da região sul de Minas Gerais; áreas adjacentes do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988, v 6, p 2854-2869.

ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; ANGELI, N.; RUEDA, J.R.J.; MANIAKAS, S. **Mapeamento Geológico em 1:50.000 da Quadrícula Extrema**. Relatório final. Rio Claro, 1991. vol.1, 152 pp., Convênio SCTD (PROMINÉRIO), IGCE-UNESP, Rio Claro, Brasil.

ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K.; WEBER-DIEFENBACH, K. Associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo; Minas Gerais, SE Brasil). **Rev. Bras. Geociências,** São Paulo, v23, p. 265-273. 1993.

ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C.; MELLO, I.S. de C.; GALEMBECK, T.M.B.; GODOY, A.M. Oportunidades Minerárias. In: MELLO, I.S. de C. (Org.). **A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Ed. Páginas & Letras Editora Gráfica Ltda, 2004. p. 91-114. (Publicação IPT 2995).

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks.** (D 2845). 1995

ATTEWELL, P.B.; FARMER, I.W. 1976. **Principles of engineering geology**. London. Chapman and Hall. – 1976. 1046p.

BIRCH, F. . The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars; Part 1. **J. Geophysics Res.**, 65: 1083-1102.1960.

BLOSS, D.F. **Crytallography and Crystal Chemistry**. Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1971. 545p.

BORGES, F.S. **Elementos de Cristalografia**. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982. 625p.

BRUNEL, M. Quartz fabrics in shear-zone mylonites: evidence for a major imprint due to late strain increments. **Tectonophysics** v.64, p. T33-T44.1980.

CAMPELLO, M.; COSTA, A.G.; BRUNO, R.; MOURA, A.C.; PINTO, L.C.M. Proposta de classificação das rochas ornamentais com base em parâmetros estéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, n.42, 2005, Araxá. **Anais...** Araxá: SBG, 2005. CD-ROM.

CAMPOS NETO, M.C. BASEI, M.A.S. A importância dos falhamentos transcorrentes na configuração do Pré-Cambriano entre São José dos Campos e Amparo (SP). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, n.4, 1983, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG, 1983. v. 4, p 79-90.

CAMPOS NETO, M.C.; ARTUR, A.C. A suíte quartzo monzonítica a diorítica de Piracaia, SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, n.4, 1983, Rio Claro. **Atas..** Rio Claro: SBG, 1983. p. 47-60.

CAMPOS NETO, M.C.; FIGUEIREDO, M.C.H.; BASEI, M.A.S.; ALVES, F.R. Os granitóides da região de Bragança Paulista, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., n.33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 6 p.2854-2862.

CARNEIRO, C.D.R.; TORQUATO, J.R.; HASUI, Y. Princípios da projeção estereográfica em geologia estrutural. In: **Projeção estereográfica para análise de estruturas: programas ESTER e TRADE, fundamentos teóricos, exercícios e aplicações em microcomputador, laboratório e campo.** São Paulo:IPT, 1996. Publicação IPT 2377. p. 3-22.

CASTRO DORADO, A. **Petrografia básica, texturas, clacificación y nomenclatura de rocas**. Madri. 1988.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.D.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G. DA N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí. Estados de São Paulo e Minas Gerais.** Brasília : DNPM/CPRM, 1979. p. 299.

CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. **Rochas Ornamentais da Bahia – Brasil**. Salvador: CBPM, 2002. CD-ROM.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro:CNPQ/CETEM, 1995. (Série Estudos e Documentos V.28). p. 75.

CHIODI FILHO, C. Realidade; perspectivas do setor de rochas no Espírito Santo. **Rev. Rochas de Qualidade,** São Paulo, SP, edição 150 janeiro/fevereiro 2000, p. 128-145. 2000.

CHIODI FILHO, C. Situação Brasileira no Mercado Internacional de Rochas Ornamentais: retrospectivas e perspectivas. In: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, n.3, 2002, Recife. **Anais...** Recife:SBG, 2002. p.138-145.

CHIODI FILHO, C. Desempenho e competitividade do setor de rochas no Brasil. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, n.4, 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p. 245-252.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P.; ARTUR, A.C. Panorama Técnico-Econômico do Setor de Rochas Ornamentais no Brasil. **Revista Geociências**, São Paulo, SP, v. 6 23, n. 1/2, p. 5-20. 2004.

CHIODI FILHO, C. As chapas e o mercado externo. **Revista Pedras do Brasil**, Vitória, ES, n. 26, ano III, p. 25-27, maio/2004. 2004a.

CHIODI FILHO, C. Exportações Brasil *x* China. **Revista Pedras do Brasil**, Vitória, ES, n. 27, ano III, p. 44-50, junho/2004.. 2004b.

CHIODI FILHO, C. Evolução do setor de rochas ornamentais; o parque de beneficiamento. **Revista Pedras do Brasil**, Vitória, ES, n. 32, ano III, p. 44-52, novembro/2004. 2004c.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais no período de janeiro a novembro de 2005. **Revista Pedras do Brasil.** Vitória, ES, n. 45, ano V, p. 40-42, fevereiro/2006. 2006.

COMIG – COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Diagnosis of the dimension stones sector of Minas Gerais, Brazil**. Belo Horizonte: COMIG, 1999. CD-ROM.

COSTA, L.A.M; SILVA, W.G. **Projeto Santo Onofre, mapeamento geológico**. Rio de Janeiro: TRISERVICE, CONVÊNIO DNPM/CPRM, 374p. (Relatório Final Integrado, v.1).1980

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Projeto Sumé** 1:100.000. Disponível em : < http:// www.cprm.gov.br>

DAITX, E.C.; TEIXEIRA, W.; ZANARDO, A. Geologia e geocronologia do Metagrabro e Apiaí, Vale do Ribeira, SP.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, n.36, 1990, Natal. **Anais...** Natal: SGB, 1990. p. 341.

DANA, E.S.; HURLBUT, C.S. **Manual de Mineralogia**. 2. New York: Editora Reverté, S.A., 1960. 600 p.

DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. 2th ed. John Wiley; Sons, Inc. New York. 1986.646p.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Catálogo de Rochas Ornamentais do Mato Grosso**. Cuiabá:DNPM, 1998. 78p.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2005**. <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=536> Acesso em: 04/jan. 2006.

DRM RJ – DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Rochas Ornamentais do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: DRM – RJ, 2003.

EBERT, H.D.; CHEMALE, F. JR.; BABINSKI, M.; ARTUR, A.C.; VAN SCHMUS, W.R. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the transpressive Rio Paraíba do Sul shear belt, SE Brasil. **Tectonics** v. 15 (2), p. 688-699.1996.

FETTER, A.H.; HACKSPACHER, P.C.; EBERT, H.D.; DANTAS, E.L.; COSTA, A.C.D. da. New Sm/Nd and U/Pb geochronological constraints on the archean to neoproterozoic evolution of the Amparo basement complex of the central Ribeira Belt, southeastern Brasil. II SOUTH AMER. SYMP. ISOTOPE GEOLOGY, n.2. **Extended Abstract...** p.125-128. 2001.

FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D.A.; TOSSATO, P**. Carta geológica do Brasil ao Milionésimo, Folhas Rio de Janeiro (SF.23), Vitória (SF.24) e Iguape (SG.23).** Brasília: DNPM, 1979. 240 p.

FRASCÁ, M.H.B.O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises das patologias associadas ao uso. IN: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Curso para Arquitetos e Engenheiros**. p.11.

FRASCÁ, M.H.B.O. Rochas Ornamentais e para Revestimento: variedades, propriedade, usos e conservação. In: MELLO, I.S. de C. (Org.). **A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Ed. Páginas e Letras Editora Gráfica Ltda, 2004. p: 153-191. (Publicação IPT 2995).

FRAZÃO, E.B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil.** São Paulo. ABGE, 2002. 132p.

FRAZÃO, E.B.; PARAGUASSÚ, A.B. Materiais rochosos para construção. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p: 331-342.

FUJIMORI, S.; FERREIRA, Y.A. **Introdução ao uso do microscópio petrográfico**. 2. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1979. p. 204.

FUNCAP – FUNDAÇÃO CEARENSE DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Rochas Ornamentais do Estado do Ceará – Brasil. J.O. MORAES(coord.).2002.CD-ROM.

GALEMBECK, T.M. **O complexo múltiplo centrado plurisserial Itu, SP**. 352p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – IGCE, UNESP, Rio Claro, 1997.

GODOY, M.L.S.; ZANARDO, A. HACKSPACHER, P.C. Medidas de eixo c em carbonatos trigonais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, n3, 1991, Rio Claro. **Boletim..**: Rio Claro: SBG, 1991. p.117-118.

HEILBRONNER, R.. Automatic grain boundary detection and grain size analysis using polarization micrographs or orientation images. **Journal of strutuctural geology**. v.22,p. 969-981. 2000.

HEILBRONNER, R.P.; PAULI, C. Orientation and misorientation imaging: integration of microstructural and textural analysis. In: **Textural of Geological Materials**. Editors: BUNGE, H.J.; SIEGESMUND, S.; SKROTZKI, W.; K. WEBER. 1994. 147-164.

HERWEGH, M.. A new technique to automatically quantify microstructures of fine grained carbonate mylonites: two-step etching combined with SEM imaging and image analysis. **Journal of strutuctural geology**. v.22,p.391-400. 2000.

HIBBARD, M.J. **Petrography to petrogenesis.** USA.1995. p. 596.

HOBBS, B. E., MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.F. **An outline of structural geology**. Wiley, New York, 571 pp, New York, 1976. 571 pp.

INDA, H.A.V.; BARBOSA, J.F. **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia**. Escala1:1 000 000 – SME/CPM, Salvador, 1978. 122p.il.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Coordenado por C.A. Bistrichi. Vol.1. 126p. il. São Paulo: PROMINÉRIO/PROMOCETEC, 1981 (Publicação 1184).

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo**. IN: LG, Caruso(coordenador). São Paulo: SCTDE/PROMINÉRIO, 1990. 122p. il. (Publicação 1820).

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1993. **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo**. IN:E.B.Frasão (coordenador).São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico,1993. 79p. il. (Publicação IPT 2048).

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico da Folha Itararé**. São Paulo:IPT, 1995. Escala 1:250.000.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo**. In:Caruso, L.G.(org.). São Paulo: SCTDE/PROMINÉRIO, 2000. CD ROM. (Publicação 1820).

JANASI, V. DE A.; ULBRICH, H.H.G.J. Avaliação das informações disponíveis para os granitóides do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, n.5, 1985, São Paulo. **Atas...** São Paulo: SBG, 1985 v. 1. p.133-146.

KERR, P.F. **Optical mineralogy**. 3th edition. 1959. 442p.

KESSLER, D.W.; INSLEY; H.; SLIGH, W. Physical, Mineralogical and durability studies on the building and monumental granites of the United States. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**. V.25, p161-206, august.1940

LAMA, R.D.; VUTUKURI, V.S. **Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results**. Clausthal, Germany. 1978. Vol 2. 481p.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. Texto Didático 03. Laboratório de Geomatemática. DGA/IGCE/UNESP-Rio Claro, SP.2000.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 2003 (Ciência e Tecnologia). 2ed. 253p.

LAPPONI, J.C. **Estatística usando Excel 5.0 e 7.0**. São Paulo: Editora Lapponi, 1997. 410p.

LE MAITRE, R.W. **A classification of igneous rocks and glossary of terms**. London: Blackwell Scientific Publication, 1989. 193p.

LI, C.C. **Introduction to experimental estatistical**. Mc Graw Hill Book.1964.

LIMA, J.J.C.**Estudos da dilatação térmica de rochas usadas em revestimento de edificações**.2002. Dissertação (Mestrado), Depto de Geotecnia da Escola de Engenharia, USP-São Carlos. São Carlos, 2002. CD-ROM.

LIMA, J.J.C.; PARAGUASSÚ, A.B. Linear Thermal expansion of granitic rocks: influence of aparent porosity, grain size and quartz content. **Bull. Eng Geol Env**. v. 63, p. 215-220. 2004.

LLOYD, G.E. An appreciation of the SEM electron channeling technique for petrographic and microstructural analysis of geological materials. In: **Textural of Geological Materials**. Editors: BUNGE, H.J.; SIEGESMUND, S.; SKROTZKI, W.; K. WEBER. 1994. 109-125.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; PALMEIRA, R.C.B.; GATTO, C.M.P.P.; SANTOS NETO, A.; SOUZA JR., J.J.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA,

W.; MARTINS, V.M.F.; CASTRO, H.E.F.; HERTER, A.M.R. 1983. Geologia; In: Brasil-DNPM. **projeto RADAM-BRASIL**. Folhas SF-23 Rio de Janeiro; SF-24 Vitória e Rio de Janeiro. Vol. 32 (levantamento de Recursos Naturais), 775p.

MANIESI, V. Anfibolitos e metabasitos das regiões nordeste do Paraná e sudeste de São Paulo: estudos isotópicos e evolução petrológica. Relatório de Bolsa Fapesp (processo 97/12459-3). Inédito. p.59.1999.

MELLO, I.S.C. Indicadores do Mercado Nacional; Internacional de Rochas Ornamentais; para Revestimento. In: ____. (Org.). **A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Ed. Páginas e Letras Editora Gráfica Ltda. 2004. p: 1-26. (Publicação IPT 2995).

MELLO MENDES, F de. **Mecânica das Rochas**. Lisboa: Ed. Seção de Folhas da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, 1968. 541p.

MELLO MENDES, F. de; AIRES-BARROS, L.; PERES RODRIGUES, F. **The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses**. In: Proc. First Congress of International Societing of rock Mechanics, n1, 1966, Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Vol. 1, p. 217-223.

METAGO – METAIS DE GOIÁS SA. **Ornamental rocks from Goiás**. Goiânia: Uniart Comunicação 1999. Portifólio.

MONTANI, C. **Stone 2003 - Repertorio Economico Mondiale**. Faenza (Itália): Faenza Editrice, 2003, 237p.

MONTANI, C. **Stone 2005 - Repertorio Economico Mondiale**. Faenza (Itália): Faenza Editrice, 2005, 253p.

MORAES, M.C.; RODRIGUES, E.P. Exemplo de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos como técnica auxiliar no estudo de rochas. **Rev. Cerâmica**, v24. n 97, p: 32-35. 1978.

MOTOKI A.; VARGAS T.; PEIXOTO, J.L.N. Análise quantitativa das cores de feldspato alcalino, nefelina e sodalita em rochas ornamentais. **Mineração Metarulgia**, Ouro Preto, MG, v. 554, n. 6, p. 14-30. 2000.

MOTOKI, A.; VARGAS, T.; EVES, J.L.P.; ZUCCO, L.L. Pietre naturali classificate per colori, una técnica de misurazione quantitativa del colore per rocce ornamentali e semi-ornamentali, utilizzando scanner e computer. **L'Informatore del Marmistas** v. 493, p. 6-16, 2003.

MOTOKI, A.; NEVES, J.L.P.; VARGAS, T. Quantitative colour analyses using digital specification technique for Mármore Bege Bahia, a representative Brazilian ornamental limestone of breccia-like texture. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 58(2), p. 113-120, abr. jun. 2005.

MOTOKI, A., ZUCCO, L.L. Digital colour specification for ornamental rocks using image scanner: its technical challenge, ongoing develpment, further innovation, and application. Anais I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, CD-ROM, 2005

NAVARRO, F.C. Granitos Ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: CONGRESSO URUGUAIO DE GEOLOGIA, 2, 1998, Punta Del Este. **Atas...** Punta del Este: SUG, 1998. p. 103-107.

NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C.; RODRIGUES, E. de P. Modelos matemáticos na previsão do comportamento do desgaste abrasivo e da resistência à flexão em "granitos" ornamentais, a partir de parâmetros petrográficos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, n.6, 1999, São Pedro. **Anais....** São Pedro: SBG, 1999. p.142.

NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C. Correlação entre características petrográficas e propriedades tecnológicas de granitos ornamentais: proposição de equações matemáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, n.1, 2001, Salvador. **Anais...** Salvador, CD-ROM, 2001. 10p.

NAVARRO, F.C. **Caracterização petrográfica como técnica para previsão do comportamento físico e mecânico de "granitos" ornamentais**. 2002. 88p. Dissertação IGCE/UNESP, Rio Claro, 2002.

NAVARRO, F.C.;ARTUR, A.C.Caracterização petrográfica para a previsão do comportamento físico; mecânico de granitos ornamentais.**Rev Rochas de Qualidade**.v. 177.p.164-192.2004.

NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C.; MEYER, A.P. Velocidade de ultra-som como controle de qualidade de granitos aplicados em fachadas e funções estruturais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, n.4. 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p. 140-152.

NAVARRO, F.C.; FERREIRA, J.A.; ARTUR, A.C.; GALEMBECK, T.M.B. Influence of mineral composition and texture to thermal expansion coefficient of silicatic dimension stones. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON DIMENSION STONES, 1. 2005, Guarapari, ES. **Proceedings...** Guarapari, ES: CETEM, 2005. 10p. CD-Rom.

NAVARRO, F.C.; FERREIRA, J.A.; ARTUR, A.C.; GALEMBECK, T.M.B. **Avaliação do microfissuramento em rochas ornamentais e para revestimento**. Simpósio do Sudeste, 9. 2005. CD-ROM.

NICHOLAS, A. **Principles of Rock Deformation**. A series of books in Petrology and Structural Geology. 1984. p. 208.

OLIVEIRA, A.H.; CARNEIRO, M.A.; NALINI JR, H.A. Compartimentação litoestrutural de um segmento crustal arqueano do Cráton São Francisco Meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, n.40, 1998, Belo Horizonte. **Anais…** Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 54.

OLIVEIRA, A.H. de. **Evolução tectônica de um segmento crustal arqueano do Cráton São Francisco Meridional**. Dissertação de Mestrado UFOP. 1999.104p.

PASSCHIER, C.W.; TROUW, R.A.J. **Microtectonics**. Springer-Verlag 1996. 289p.

PETTIJHON, F.J. **Sedimentary rocks**. 3 Ed. New York: Harper, 1975. p. 628.

PLGB – **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL 1993a**. Colatina. Folha SE-24-Y-C-VI. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Org. Pedro Manuel Tuller. Brasília, DNPM/CPRM, 1993. 176p.

PLGB – **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL 1993b**. Domingos Martins. Folha SE-24-V-A-III. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. FÉBOLI, W. L. (Org.). Brasília, DNPM/CPRM, 1993. 192p.

PLGB – **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL 1993c**. Piúma. Folha SE-24-V-A-VI. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. FÉBOLI, W. L. (Org.). Brasília, DNPM/CPRM, 1993. 140p.

PLGB – **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL 1993d**. Cachoeiro de Itapemirim. Folha SE-24-V-A-V. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Org. Jodauro Nery da Silva. Brasília, DNPM/CPRM, 1993. 176p.

PLGB – **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL 1997**. Cachoeiro de Itapemirim. Folha SF-24-Z-V-A. Estado do Espírito Santo, Minas Gerais; Rio de Janeiro. Escala 1:250.000. Org. Valter Salino Vieira. Brasília, DNPM/CPRM, 1997. 99p.

PORCHER, C.A. **Geologia das Quadrículas Pupiara e Oliveira dos Brejinhos, Bahia**. Recife: SUDENE, 1970.62 p.

PRIKRYL, R. Some microstructural aspects of strength variation in rocks. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** v.38, p. 671-682. 2001.

RADAMBRASIL - Projeto Radambrasil (Org. L. Machado Filho) 1983. Levantamento de Recursos Naturais - Folhas SF-23 Rio de Janeiro; SF-24 Vitória e Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação; uso potencial da terra. DNPM. vol. 32, 780p

RAO, C.R. **Advanced statistical methods in biometric research**. John Willey and Sons. 1952.

RIVAS, T.; PRIETO, B.; SILVA, B. Influence of rift and bedding plane on the physico-mechanical properties of granitic rocks. Implications for the deterioration of granitic monuments. **Building and Environment**. v. 35, p. 387-396. 2000.

RODRIGUES, E. de P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.M.V. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. **Rev. Rochas e Equipamentos**, Lisboa, v.47, p2. 1997.

RODRIGUES, E. DE P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C. Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. **Rev. Rochas de Qualidade,** São Paulo, nº 127, p80-84. 1996.

RZHEVSKY, V.; NOVIK, G. **The physics of rocks**. Moscow, MIR Publishers, 1971. 320p.

SANTIN, J. L. **Ultra-som: técnica; aplicação**. Rio de Janeiro. 1996. 287p.

SCHOBBENHAUS, C. **Relatório geral sobre a geologia da região setentrional da Serra do Espinhaço - Bahia Central**. Recife, SUDENE/DNR/DG. 1972.91 p. (Série Geologia Regional 19).

SCHOBBENHAUS, C. As tafrogênese superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: revisão e novas propostas. **Rev. Bras. Geoc.** v. 26 (4), p. 265-276. 1996.

SCHÖN, J.H. 1996. **Physical properties of rocks, fundamentals and principles of petrophysics**. (Handbook of Geophysical Exploration. Section I, Seismic Exploration: v.18) edited by K. Helbig and S. Treitel. 2nd Edition. 1998. Pergamon. 583p.

SELONEN, O.; LUODES, H.; EHLERS, C. Exploration for dimensional stone – implications and examples from the Precambrian of southern Finland. **Engin Geol**, 56. p: 275-291. 2000.

SGM – SUPERINTEDÊNCIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS. **Uma síntese sobre a Geologia da Bahia.** In: Mascarenhas, J. de F.(coordenador). Salvador. 1990. 96p. il.

SGM - SUPERINTEDÊNCIA DE GEOLOGIA; RECURSOS MINERAIS.**Catálogo das Rochas Ornamentais da Bahia**. In:Azevedo, H.C.A.; Costa, P.H. de O. (coordenadores) Salvador: SBG, 1994. 148p. il.

SIEGESMUND, S.; DAHMS, M. Fabric-controlled anisotropy of elastic, magnetic and thermal properties of rocks. In: BUNGE, H.J; SIEGESMUND, S.; SKROTZKI, W.; WEBER, K. **Textures of geological materials**. Germany. Informationsgesellschaft - Verlag. 1994. p: 353-379.

SIEGESMUND, S.; ULLEMEYER, K.; WEISS, T.; TSCHEGG, E.K. Physical weathering of marbles caused by anisotropic thermal expansion. **Int. J. Earth Science** 2000. 89:170-182.

SILVA M.A. de et al. **Projeto Mantiqueira-Furnas. Relatório Final**. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 1978. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2788).

SOARES, P.C. Divisão estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Geoc**., São Paulo, SP, v. 5, p229-252. 1975.

SPRY, A.H. **Metamorphic textures**.1969. Pergamon Press, Oxford, 350p.

STROHMEYER, D.; SIEGESMUND, S. Anisotropic technical properties of building stones and their development due to fabric changes. In: SIEGESMUND, S.; VOLLBRECHT, A.; WEISS, T. (Ed.) **Natural Stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies.** 2002. Geological Society, London Special Publications, 205, 107-127.

TASSINARI, C.C.G.; NUTMAN, A.P. Archean and Proterozoic multiple tectonothermal events recorded by gneisses in the Amparo region, São Paulo state, Brasil. II SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY. **Extended Abstracts** 1:252-254. 2001.

TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K.; VAN SCHMUS, R.; TAYLOR, P.N. As idades das rochas; dos eventos metamórficos da região sudeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, n.35, 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 6, p 2840-2853.

TSCHEGG, E.K.; WIDHALM, C.; EPPENSTEINER, W. Ursachen mangelnder Formbeständigkeit von Marmorplatten. **Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft**. v. 150 (2), p. 283-297. 1999.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; NUTMAN, A.P.; SATO, K. Polyphase crustal in the late Archean: The case of Campo Belo Metamorphic Complex. In: SIMPÓSIO DE TERRENOS ARQUEANOS DA PLATAFORMA SUL-AMERICANA, 1996, Brasília. **Anais…** Brasília: SBG, 1996. p. 63-64.

TÖPFNER, C. Brasilian-Granitoid in den Bundestaaten São Paulo and Minas Gerais, Brasilien-Eine vergleichend (zircontypologie, U/(Th)/Pb und Rb/Sr - Altersbestimmungen). **Münchner Geologischen**. Munchen, Germany Hefte-Reithe A (Allgemaine Geologie). 1997. v.17, p. 258.

TORQUATO-BESSA, M.F. **Rochas ornamentais do noroeste do Ceará (Brasil): características tecnológicas, alteração e alterabilidade dos granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará**. 2004. 273p. Tese de Doutrado. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2004.

TORQUATO-BESSA, M.F.; FIGUEIREDO, C.; FIGUEIREDO, P.; TORQUATO, J.R.; AIRES-BARROS, L.A.; MACHAQUEIRO, P. Análise de imagem aplicada ao granito Meruoca Clássico, mediante envelhecimento artificial em Câmara saturada com SO_2. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON DIMENSION STONES, n.1. 2005, Guarapari, ES. **Proceedings...** Guarapari, ES: CETEM, 2005. 7p. CD-Rom.

TUGRUL A.; ZARIF, I.H. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. **Engineering Geology**. v. 51, p. 303-307. 1999.

ULBRICH, H.H.G.J. **Aspectos mineralógicos; petrológicos de nefelina sienitos do Maciço Alacalino de Poços de Caldas, MG-SP**, 1984. 369p. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências. USP, São Paulo, 1984.

VIDEIRA, F.C.P. **Regional geology of Minas Gerais with special regard to dimension stone**. Destag Mining Conference Brazil. October, 1996. Edited by Fontex – Importadora; Exportadora, 1996. 23p.

VIGUINI, V. CENTRO Avalia a performance do setor em 2005. **Revista Rochas de Qualidade**. São Paulo, SP, edição 186 janeiro/fevereiro. p. 94-96. 2006.

VOLLBRECHT, A.; OLESEN, N.O.; SCHMIDT, N.H.; WEBER, K. Crystallographic microcracking orientation in quartz from a granite – a combined ECP/U-Stage study. In: BUNGE, H.J; SIEGESMUND, S.; SKROTZKI, W.; WEBER, K. **Textures of geological materials**. Germany. Informationsgesellschaft - Verlag. 1994. p: 345-352.

VUTUKURI, V.S.; LAMA, R.D.; SALUJA, S.S. **Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results**. Clausthal, Germany. 1974. Vol 1. 280p.

WAHLSTROM, E.E. **Optical crystallography, with particular reference to the use and theory of the polarizing microscope.** 3rd. ed. New York. 1960. 356p.

WEISS, T. **Gefügeanisotropie und ihre Auswirkung auf das seismische Erscheinungsbild: Fallbeispiele aus der Lithosphäre Süddeutschlands**. Stuttgart: Scweizerbart, 1998. 156p.

WEISS,T.;SIEGSMUND, S.; RASOLOFOSAON, P.N.J..The relationship between deterioration, fabric, velocity and porosity constraint. 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. **Abstracts…**Venice, 2000. p:215-223.

WEISS, T.; RASOLOFOSAON, P.N.J.; SIEGSMUND, S. Ultrasonic wave velocities as a diagnostic tool for the quality assessment of marble. In: SIEGESMUND,S.; VOLLBRECHT,A.; WEISS, T. 2002. **Natural Stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies**. Geological Society, London Special Publications, 2002.**205**, 141-156.

WEISS, T.; SIEGSMUND, S.; KIRCHNER, D.; SIPPEL, J. Insolation weathering and hygric dilatation: two competitive factors in stone degradation. **Environmental Geology**. v.46, p. 402-413. 2004.

WERNICK, E.; PENALVA, F. Feições estruturais de migmatitos ao norte; sul da Falha de Jacutinga, leste do Estado de São Paulo. **Ciência e Cultura**, 25 (Supl., 6):183. 1973.

WERNICK, E.; PENALVA, F. Contribuição à geologia do Grupo Pinhal (SP; MG). **Rev. Bras. Geol**., São Paulo, SP: SBG.v10, p43-62. 1980.

WINKLER, H.G.F. **Petrogenis of metamorphic rocks**. 4.ed. New York:Springer Verlag, 1976. 334p.

WINKLER, E.M. **Stone in architecture: properties, durability**. 3.ed. New York: Springer-Verlag, 1997. 313p.

WHITTAKER, B.N.; SINGH, R.N.; SUN, G. **Rock Fractures Mechanics – Principles, Design and Applications**. Amsterdan: Elsevier Science Publisher, 1992. 570p.

WINTERS, A.M. **A geologia do Maciço Sienítico da Pedra Branca, Caldas – MG.** Dissertação - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981. 92p.

ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica; microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG**). Tese de Doutoramento IGCE/UNESP. 1992.288p

ANEXO I

Dados de Dilatação Térmica, Índices Físicos e

Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

PLANILHA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR, ÍNDICES FÍSICOS E VELOCIDADE DE ULTRA-SOM

amostra		eixo	altura	ondas ultra-sônicas								Coeficiente de Dilatação Térmica			índices físicos						
				tempo (µs) antes		tempo (µs) depois		Vp (m/s) antes		Vp (m/s) depois					PESO (g)			Densidade (kg/m^3)		? (%)	a (%)
				seco	sat.	sat	seco	seco	saturado	saturado	seco	Aq.	Resf	média	Sub	Sat	Seco	Seca	Satur		
carbonáticas	CM	x	89,87	21,9	14,3	13,4	24,8	4103,7	6284,6	6706,7	3623,8	5,15	5,36	5,25	103,86	159,57	159,37	2861	2864	0,36	0,13
		y	90,04	23,5	14,5	14,4	27,6	3831,5	6209,7	6252,8	3262,3	8,63	8,39	8,51	105,25	161,53	161,32	2866	2870	0,37	0,13
		z	89,65	19,7	13,5	13,4	23,8	4550,8	6640,7	6690,3	3766,8	8,71	9,13	8,92	104,75	160,60	160,40	2872	2876	0,36	0,12
	EX	x	89,87	32,6	16,1	15,5	36,8	2756,7	5582,0	5798,1	2442,1	5,36	4,88	5,12	105,52	162,55	162,31	2846	2850	0,42	0,15
		y	89,66	32,2	16,8	15,9	38,4	2784,5	5336,9	5639,0	2334,9	6,83	6,11	6,47	105,36	162,42	162,18	2842	2846	0,42	0,15
		z	89,87	37,5	17,7	16,9	40,0	2396,5	5077,4	5317,8	2246,8	8,98	9,87	9,42	105,99	163,29	163,02	2845	2850	0,47	0,17
quartzosas	AS	x	89,48	18,8	18,3	17,7	18,9	4759,6	4889,6	5055,4	4734,4	10,00	9,96	9,98	74,62	128,82	127,45	2351	2377	2,53	1,07
		y	89,86	18,5	18,2	17,7	18,6	4857,3	4937,4	5076,8	4831,2	9,53	10,84	10,19	75,62	130,21	129,37	2370	2385	1,54	0,65
		z	89,42	19,4	18,9	19,5	19,8	4609,3	4731,2	4585,6	4516,2	9,12	11,12	10,12	73,92	128,23	126,82	2335	2361	2,60	1,11
	IB	x	89,67	16,5	14,9	14,7	16,0	5434,5	6018,1	6100,0	5604,4	8,79	10,13	9,46	94,14	148,64	148,52	2725	2727	0,22	0,08
		y	89,55	16,2	14,6	15,3	18,8	5527,8	6133,6	5852,9	4763,3	9,65	10,41	10,03	94,21	148,73	148,63	2726	2728	0,18	0,07
		z	89,66	16,3	14,9	13,9	14,3	5500,6	6017,4	6450,4	6269,9	8,25	9,65	8,95	94,53	149,07	148,94	2731	2733	0,24	0,09
	QOP	x	86,66	21,3	15,5	15,2	19,3	4068,5	5591,0	5701,3	4490,2	8,03	9,47	8,75	90,90	143,26	143,10	2733	2736	0,31	0,11
		y	89,61	25,6	16,9	17,3	24,6	3500,4	5302,4	5179,8	3642,7	6,22	8,40	7,31	95,93	150,21	149,79	2760	2767	0,77	0,28
		z	89,93	21,3	17,4	16,6	35,7	4222,1	5168,4	5417,5	2519,0	8,18	8,43	8,31	93,80	147,30	146,88	2745	2753	0,79	0,29
feldspáticas	MCF	x	90,30	18,6	14,7	14,3	19,5	4854,8	6142,9	6314,7	4630,8	5,50	5,21	5,36	100,19	154,71	154,34	2831	2838	0,68	0,24
		y	89,83	18,0	14,4	14,2	19,3	4990,6	6238,2	6326,1	4654,4	6,60	5,55	6,05	99,43	153,57	153,12	2828	2837	0,83	0,29
		z	90,00	17,2	13,1	12,9	19,0	5232,6	6870,2	6976,7	4736,8	3,37	3,66	3,56	99,85	154,23	153,84	2829	2836	0,72	0,25
	MCD	x	90,04	19,7	16,0	15,1	23,0	4570,6	5627,5	5962,9	3914,8	3,09	4,22	3,66	97,14	151,73	151,25	2771	2779	0,88	0,32
		y	89,88	20,8	15,4	15,2	21,4	4321,2	5836,4	5913,2	4200,0	3,50	3,64	3,57	96,84	151,29	150,84	2770	2779	0,83	0,30
		z	90,10	18,3	13,8	13,7	18,2	4923,5	6529,0	6576,6	4950,5	3,04	3,48	3,26	97,32	151,99	151,52	2772	2780	0,86	0,31
	PA	x	89,40	13,9	12,6	12,5	14,3	6431,7	7095,2	7152,0	6251,7	3,78	5,60	4,69	115,89	172,66	172,47	3038	3041	0,33	0,11
		y	89,85	14,1	12,8	12,5	14,1	6372,3	7019,5	7188,0	6372,3	5,06	6,43	5,74	115,13	171,84	171,63	3026	3030	0,37	0,12
		z	89,80	14,0	12,9	12,7	14,2	6414,3	6961,2	7070,9	6323,9	5,59	5,90	5,74	115,04	172,09	171,83	3012	3016	0,46	0,15
	PP	x	89,86	15,8	14,5	14,4	17,5	5687,3	6197,2	6240,3	5134,9	4,55	4,58	4,57	109,14	166,90	166,59	2884	2890	0,54	0,19
		y	89,98	16,6	15,0	14,8	18,1	5420,5	5998,7	6079,7	4971,3	4,54	4,40	4,51	108,77	166,47	166,22	2881	2885	0,43	0,15
		z	90,00	18,1	15,5	15,2	18,5	4972,4	5806,5	5921,1	4864,9	4,77	3,32	4,05	108,94	166,78	166,47	2878	2883	0,54	0,19

Vp: velocidade de propagação de ondas longitudinais; ?: porosidade aparente; a: absorção d'água

PLANILHA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR, ÍNDICES FÍSICOS E VELOCIDADE DE ULTRA-SOM

amostra		eixo	altura	ondas ultra-sônicas								Coeficiente de Dilatação Térmica			índices físicos						
				tempo (µs) antes		tempo (µs) depois		Vp (m/s) antes		Vp (m/s) depois					PESO (g)			Densidade (kg/m^3)		? (%)	a (%)
				seco	sat.	sat	seco	seco	saturado	saturado	seco	Aq.	Resf	média	Sub	Sat	Seco	Seca	Satur		
quartzo-feldspáticas	AF	x	89,57	18,3	15,7	15,6	19,4	4894,5	5705,1	5741,7	4617,0	6,15	6,13	6,14	95,62	152,55	152,26	2675	2680	0,51	0,19
		y	89,52	17,3	15,1	15,2	17,9	5174,6	5928,5	5889,5	5001,1	7,71	7,64	7,68	97,18	153,53	153,27	2720	2725	0,46	0,17
		z	89,78	16,6	14,6	14,5	17,1	5408,4	6149,3	6191,7	5250,3	5,64	6,50	6,07	97,99	155,22	154,93	2707	2712	0,51	0,19
	AZS	x	89,57	16,5	14,9	14,7	16,3	5428,5	6011,4	6093,2	5495,1	4,47	6,28	5,38	91,86	146,37	146,20	2682	2685	0,31	0,12
		y	88,90	16,2	14,6	14,4	16,4	5487,7	6089,0	6173,6	5420,7	4,30	6,50	5,40	91,41	145,81	145,71	2678	2680	0,18	0,07
		z	89,86	16,3	14,9	14,8	16,4	5512,9	6030,9	6071,6	5479,3	5,28	7,09	6,19	91,76	146,50	146,36	2674	2676	0,26	0,10
	JR	x	90,02	20,1	16,6	16,7	21,1	4478,6	5422,9	5390,4	4266,4	4,88	6,55	5,71	95,66	153,57	152,95	2641	2652	1,07	0,41
		y	90,02	18,4	16,0	15,7	19,3	4892,4	5626,3	5733,8	4664,2	5,15	6,20	5,67	96,16	154,00	153,39	2652	2663	1,05	0,40
		z	90,08	20,1	16,3	16,4	21,8	4481,6	5526,4	5492,7	4132,1	4,43	5,28	4,85	96,74	154,56	154,02	2664	2673	0,93	0,35
	KA	x	89,74	19,1	16,4	16,7	20,0	4698,4	5472,0	5373,7	4487,0	4,36	5,66	5,01	93,73	151,31	150,83	2619	2628	0,83	0,32
		y	90,34	18,7	16,2	16,3	19,5	4831,0	5576,5	5542,3	4632,8	5,98	6,05	6,02	94,51	152,25	151,76	2628	2637	0,85	0,32
		z	90,36	20,0	17,1	16,9	20,5	4518,0	5284,2	5346,7	4407,8	4,95	5,05	5,00	95,67	153,54	153,07	2645	2653	0,81	0,31
	PSG	x	89,86	17,4	14,8	14,6	17,9	5164,4	6071,6	6154,8	5020,1	7,87	7,30	7,59	103,51	157,79	157,32	2898	2907	0,87	0,30
		y	90,07	16,6	15,0	14,9	17,7	5425,9	6004,7	6045,0	5088,7	8,01	7,36	7,68	102,17	156,42	156,04	2876	2883	0,70	0,24
		z	90,25	17,0	15,5	15,0	17,8	5308,8	5822,6	6016,7	5070,2	6,75	6,28	6,51	103,28	157,87	157,52	2886	2892	0,64	0,22
	RI	x	89,91	20,2	16,8	16,8	20,7	4451,0	5351,8	5351,8	4343,5	6,01	6,40	6,20	93,77	151,30	150,78	2621	2630	0,90	0,34
		y	90,00	19,1	17,0	16,0	20,1	4712,0	5294,1	5625,0	4477,6	5,72	6,37	6,04	93,95	151,81	151,20	2613	2624	1,05	0,40
		z	90,14	21,7	17,2	16,3	22,4	4153,9	5240,7	5530,1	4024,1	7,28	7,92	7,60	88,85	143,18	142,67	2626	2635	0,94	0,36
	VB	x	89,71	21,6	26,1	26,9	21,0	4153,2	3437,2	3334,9	4271,9	5,68	6,97	6,32	89,69	144,02	143,53	2642	2651	0,90	0,34
		y	89,53	19,5	16,2	15,5	19,7	4591,3	5526,5	5776,1	4544,7	5,14	5,55	5,34	89,37	143,90	143,41	2630	2639	0,90	0,34
		z	89,83	20,7	17,0	16,4	20,3	4339,6	5284,1	5477,4	4425,1	4,67	3,78	4,22	88,00	141,67	141,29	2633	2640	0,71	0,27
	VCB	x	89,72	20,0	16,6	15,4	19,6	4486,0	5404,8	5826,0	4577,6	5,50	7,05	6,27	89,01	144,12	143,78	2609	2615	0,62	0,24
		y	89,52	18,0	15,8	15,5	18,5	4973,3	5665,8	5775,5	4838,9	5,29	6,35	5,82	89,37	144,29	143,92	2621	2627	0,67	0,26
		z	85,15	17,6	15,0	14,6	17,9	4838,1	5676,7	5832,2	4757,0	6,19	4,89	5,54	84,28	136,20	136,11	2622	2623	0,17	0,07
	VCM	x	90,07	17,3	14,9	15,6	17,4	5206,4	6045,0	5773,7	5176,4	5,45	5,38	5,42	95,32	152,99	152,68	2647	2653	0,54	0,20
		y	89,90	19,2	16,0	14,8	19,7	4682,3	5618,8	6074,3	4563,5	4,94	5,16	5,05	95,27	152,74	152,46	2653	2658	0,49	0,18
		z	89,73	18,4	15,4	15,6	18,3	4876,6	5826,6	5751,9	4903,3	4,25	5,82	5,04	94,97	152,45	152,24	2649	2652	0,37	0,14
	VCD	x	90,01	16,6	14,8	14,8	17,8	5422,3	6081,8	6081,8	5056,7	5,43	6,20	5,81	99,19	156,98	156,60	2710	2716	0,66	0,24
		y	90,00	16,0	14,5	14,1	16,3	5625,0	6206,9	6383,0	5521,5	5,47	6,25	5,86	98,86	156,34	156,18	2717	2720	0,28	0,10
		z	89,56	16,8	14,5	14,4	16,4	5331,0	6176,6	6219,4	5461,0	3,83	5,15	4,49	98,42	156,01	155,77	2705	2709	0,42	0,15
	VM	x	90,03	16,8	14,8	14,9	17,4	5358,9	6083,1	6042,3	5174,1	4,78	4,55	4,67	95,42	153,05	152,76	2651	2656	0,50	0,19
		y	89,78	16,9	14,6	16,1	19,7	5312,4	6149,3	5576,4	4557,4	5,13	6,19	5,66	95,77	153,28	153,02	2661	2665	0,45	0,17
		z	89,83	17,3	15,1	14,9	18,3	5192,5	5949,0	6028,9	4908,7	4,24	4,01	4,13	95,06	152,71	152,37	2643	2649	0,59	0,22
	VV	x	90,02	16,5	14,9	14,1	17,5	5455,8	6041,6	6384,4	5144,0	5,97	5,91	5,94	99,45	157,10	156,63	2717	2725	0,82	0,30
		y	89,88	16,4	14,9	14,1	17,5	5480,5	6032,2	6374,5	5136,0	5,78	5,92	5,85	103,41	161,03	160,52	2786	2795	0,89	0,32
		z	89,80	16,6	15,1	14,4	17,5	5409,6	5947,0	6236,1	5131,4	7,64	7,70	7,67	102,75	160,24	159,78	2779	2787	0,80	0,29

Vp: velocidade de propagação de ondas longitudinais; ?: porosidade aparente; a: absorção d'água

ANEXO II

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e

Velocidade de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Cintilante Mesclado - CM data: 1/6/2004
Procedência: Distrito Gironda, Cachoeiro do Itapemirim, ES (Empresa Mineração Santa Clara)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	69,41	69,42	69,43	69,42	69,77	69,51	67,79	68,49	69,37	68,37	68,51	551,7	115,85	4393,0	0,21
		2	68,13	71,16	71,29	70,36	70,72	70,88	69,10	69,12	69,13	69,20	69,14	546,4	111,50	5046,7	0,24
	satur	3	67,89	65,93	66,34	66,36	66,67	66,33	69,02	68,82	69,04	69,30	69,05	472,3	103,14	6789,0	0,26
		4	66,56	69,02	68,85	68,62	68,31	68,70	67,14	66,68	67,57	67,43	67,21	377,2	81,69	6462,1	0,31
Y	seco	1	67,52	68,51	68,72	67,75	67,53	68,13	67,61	67,94	67,67	67,37	67,65	413,0	89,60	4142,3	0,23
		2	66,26	68,97	68,84	68/,20	67,94	68,58	67,99	67,98	67,69	67,80	67,87	429,6	92,30	4507,5	0,23
	satur	3	66,50	67,56	67,47	67,52	67,09	67,41	68,97	68,93	68,58	68,42	68,73	387,2	83,57	6584,2	0,29
		4	67,03	66,91	67,04	67,41	67,93	67,32	68,64	68,64	68,01	68,44	68,43	439,1	95,30	6445,2	0,26
Z	seco	1	69,79	70,75	71,08	70,32	70,80	70,74	71,61	71,03	71,42	71,33	71,35	478,4	94,79	4531,8	0,23
		2	69,46	69,56	69,20	69,02	69,41	69,30	71,17	71,35	70,54	71,08	71,04	532,7	108,21	4452,6	0,23
	satur	3	69,68	70,70	70,39	71,21	70,45	70,69	70,82	71,32	70,48	70,47	70,77	396,4	79,23	6451,9	0,29
		4	70,02	69,64	70,38	69,99	71,21	70,31	71,07	70,70	71,19	71,05	71,00	437,6	87,65	6483,3	0,29
													Média:	455,1	95,23	5524,1	0,26
													Desvio Padrão:	61,5	12,038	1079,4	0,03
													Coeficiente de Variação:	0,14	0,13	0,20	0,13

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	15,8	69,41	4393,0	16,3	67,52	4142,3	15,4	69,79	4531,8
2	13,5	68,13	5046,7	14,7	66,26	4507,5	15,6	69,46	4452,6
3	10,0	67,89	6789,0	10,1	66,50	6584,2	10,8	69,68	6451,9
4	10,3	66,56	6462,1	10,4	67,03	6445,2	10,8	70,02	6483,3

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	613,90	942,30	941,60	2867	2869	0,21	0,07
	2	621,30	952,30	951,50	2875	2877	0,24	0,08
	3	572,50	878,30	877,50	2870	2872	0,26	0,09
	4	599,20	920,00	919,00	2865	2868	0,31	0,11
	Média				2869	2872	0,26	0,09
EIXO Y	1	576,10	885,00	884,30	2863	2865	0,23	0,08
	2	573,10	878,60	877,90	2874	2876	0,23	0,08
	3	573,20	879,20	878,30	2870	2873	0,29	0,10
	4	574,00	881,50	880,70	2864	2867	0,26	0,09
	Média				2868	2870	0,25	0,09
EIXO Z	1	657,30	1008,50	1007,7	2869	2872	0,23	0,08
	2	637,90	978,60	977,80	2870	2872	0,23	0,08
	3	647,80	994,80	993,80	2864	2867	0,29	0,10
	4	648,60	996,10	995,10	2864	2866	0,29	0,10
	Média				2867	2869	0,26	0,09

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Extra - EX data: 1/6/2004
Procedência: Distrito Gironda, Cachoeiro do Itapemirim, ES (Empresa Mineração Santa Clara)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	70,11	69,76	71,10	69,72	70,70	70,32	70,67	70,29	69,55	69,94	70,11	373,8	75,81	3420,0	0,27
		2	68,63	70,30	70,92	70,82	70,71	70,69	70,18	70,89	70,63	70,70	70,60	344,9	69,11	3207,0	0,30
	satur	3	69,84	70,02	70,08	71,26	71,55	70,73	70,66	70,94	70,95	71,72	71,07	410,9	81,75	6020,7	0,37
		4	68,78	70,23	70,20	70,49	70,91	70,46	70,07	71,11	70,15	71,02	70,59	378,3	76,06	5878,6	0,35
Y	seco	1	69,41	71,51	71,40	72,02	72,40	71,83	70,56	70,19	69,83	69,98	70,14	350,7	69,60	2880,1	0,29
		2	69,90	71,82	72,37	72,23	71,55	71,99	70,28	70,24	69,93	70,20	70,16	331,2	65,56	3026,0	0,28
	satur	3	69,86	70,66	70,59	70,25	70,32	70,46	71,91	72,83	73,04	72,31	72,52	360,1	70,48	5588,8	0,39
		4	69,80	72,90	72,77	73,11	72,44	72,81	71,37	71,63	71,18	70,82	71,25	309,0	59,56	5768,6	0,36
Z	seco	1	68,48	69,15	70,05	70,26	69,50	69,74	69,98	70,36	69,15	69,69	69,80	375,8	77,20	3070,9	0,30
		2	68,50	69,49	69,91	68,76	68,81	69,24	70,01	70,11	69,55	69,34	69,75	294,7	61,02	2500,0	0,36
	satur	3	68,13	70,02	70,14	69,63	69,80	69,90	69,48	69,58	69,94	69,34	69,59	334,3	68,73	5407,1	0,36
		4	68,70	69,77	69,74	69,27	69,17	69,49	69,64	69,41	69,96	69,92	69,73	348,7	71,95	5284,6	0,36
													Média:	351,0	70,57	4337,7	0,33
													Desvio Padrão:	31,9	6,5537	1408,0	0,04
													Coeficiente de Variação:	0,09	0,09	0,32	0,13

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	20,5	70,11	3420,0	24,1	69,41	2880,1	22,3	68,48	3070,9
2	21,4	68,63	3207,0	23,1	69,90	3026,0	27,4	68,50	2500,0
3	11,6	69,84	6020,7	12,5	69,86	5588,8	12,6	68,13	5407,1
4	11,7	68,78	5878,6	12,1	69,80	5768,6	13,0	68,70	5284,6

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	616,80	949,40	948,50	2852	2854	0,27	0,09
	2	620,00	954,70	953,70	2849	2852	0,30	0,10
	3	642,70	989,50	988,20	2849	2853	0,37	0,13
	4	627,90	966,90	965,70	2849	2852	0,35	0,12
	Média				2850	2853	0,32	0,11
EIXO Y	1	641,40	987,40	986,40	2851	2854	0,29	0,10
	2	654,70	1007,7	1006,70	2852	2855	0,28	0,10
	3	657,20	1012,0	1010,60	2848	2852	0,39	0,14
	4	664,40	1023,1	1021,80	2849	2852	0,36	0,13
	Média				2850	2853	0,33	0,12
EIXO Z	1	613,60	945,70	944,70	2845	2848	0,30	0,11
	2	610,70	940,20	939,00	2850	2853	0,36	0,13
	3	610,20	939,50	938,30	2849	2853	0,36	0,13
	4	614,00	945,50	944,30	2849	2852	0,36	0,13
	Média				2848	2852	0,35	0,12

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Arenito Silicificado - AS data: 3/5/2004
Procedência: Araraquara, SP (Empresa Pedreira São Bento de Araraquara)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	72,65	73,27	73,33	73,40	73,32	73,33	73,30	73,22	73,34	73,11	73,24	1163,0	216,53	5080,4	1,68
		2	73,18	72,11	72,09	71,99	72,07	72,07	73,77	73,87	73,87	73,93	73,86	856,9	160,99	4814,5	1,30
	satur	3	73,38	73,79	73,63	73,59	73,50	73,63	72,49	72,24	72,36	72,23	72,33	712,3	133,75	5241,4	1,55
		4	73,19	73,93	73,85	73,86	73,91	73,89	73,70	73,77	73,71	73,79	73,74	829,7	152,28	5154,2	0,73
Y	seco	1	72,72	72,82	72,53	72,75	72,52	72,66	73,23	73,18	73,61	73,17	73,30	1036,0	194,54	5157,4	1,67
		2	72,80	72,18	72,80	72,27	73,89	72,79	73,82	73,68	73,78	73,80	73,77	954,7	177,81	4885,9	1,01
	satur	3	71,64	73,69	73,55	73,60	73,85	73,67	74,59	74,44	74,87	74,66	74,64	715,6	130,13	4940,7	0,94
		4	73,01	73,64	73,60	73,81	73,82	73,72	73,44	73,37	73,51	73,44	73,44	958,4	177,03	5105,6	0,79
Z	seco	1	72,69	71,16	71,25	71,13	71,24	71,20	72,98	73,07	73,18	73,14	73,09	879,9	169,09	4751,0	1,93
		2	71,64	72,48	72,73	72,61	72,57	72,60	73,58	73,73	73,23	74,05	73,65	935,0	174,88	5117,1	1,21
	satur	3	70,17	72,27	72,34	72,20	72,19	72,25	73,64	74,02	74,09	73,89	73,91	869,9	162,89	5084,8	0,59
		4	69,86	71,16	71,15	71,23	71,13	71,17	72,27	72,15	72,04	72,19	72,16	807,1	157,15	5174,8	0,62
													Média:	893,2	167,25	5042,3	1,2
													Desvio Padrão:	128,2	23,982	155,9	0,5
													Coeficiente de Variação:	0,14	0,14	0,03	0,39

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	14,3	72,65	5080,4	14,1	72,72	5157,4	15,3	72,69	4751,0
2	15,2	73,18	4814,5	14,9	72,80	4885,9	14,0	71,64	5117,1
3	14,0	73,38	5241,4	14,5	71,64	4940,7	13,8	70,17	5084,8
4	14,2	73,19	5154,2	14,3	73,01	5105,6	13,5	69,86	5174,8

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	538,20	925,80	919,30	2372	2389	1,68	0,71
	2	535,70	921,60	916,60	2375	2388	1,30	0,55
	3	532,70	919,90	913,90	2360	2376	1,55	0,66
	4	552,80	949,80	946,90	2385	2392	0,73	0,31
	Média				2373	2386	1,31	0,55
EIXO Y	1	533,20	917,40	911,00	2371	2388	1,67	0,70
	2	518,90	904,00	900,10	2337	2347	1,01	0,43
	3	512,00	905,20	901,50	2293	2302	0,94	0,41
	4	545,20	939,20	936,10	2376	2384	0,79	0,33
	Média				2344	2355	1,10	0,47
EIXO Z	1	520,00	887,70	880,60	2395	2414	1,93	0,81
	2	531,80	913,30	908,70	2382	2394	1,21	0,51
	3	516,50	889,10	886,90	2380	2386	0,59	0,25
	4	492,70	848,20	846,00	2380	2386	0,62	0,26
	Média				2384	2395	1,09	0,46

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Imperial Blue - IB data: 25/5/2004
Procedência: Boquira, Bahia (Empresa Brasvit)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	56,36	56,41	56,38	56,48	56,36	56,41	55,08	55,09	55,15	55,18	55,13	754,1	242,50	6262,2	0,32
		2	55,57	57,12	57,10	56,97	57,01	57,05	55,91	56,37	56,05	55,56	55,97	589,5	184,61	6314,8	0,31
		3	56,11	55,50	55,40	56,00	55,22	55,53	55,40	55,43	55,41	55,40	55,41	659,6	214,35	6098,9	0,30
	satur	4	55,50	56,64	56,01	55,96	56,69	56,33	56,78	56,65	56,82	56,75	56,75	537,8	168,23	6453,5	0,32
		5	55,47	56,80	56,84	57,00	57,28	56,98	55,16	55,06	55,22	55,23	55,17	523,3	166,47	6525,9	0,25
Z	seco	1	55,45	57,21	56,68	56,63	56,79	56,83	56,75	56,96	56,96	56,86	56,88	595,2	184,13	5436,3	0,26
		2	55,02	56,04	55,84	55,93	56,09	55,98	54,49	54,49	54,45	54,46	54,47	563,7	184,86	5447,5	0,20
	satur	3	53,70	56,12	55,95	55,96	55,81	55,96	55,99	56,24	56,21	56,08	56,13	454,2	144,59	6244,2	0,24
		4	54,96	57,15	56,75	56,60	56,47	56,74	57,17	57,34	57,19	57,02	57,18	400,2	123,33	6106,7	0,25
Y	seco	1	55,57	57,53	57,40	57,38	57,37	57,42	56,72	56,81	56,82	56,56	56,73	691,9	212,42	6106,6	0,28
		2	53,97	56,60	56,69	56,60	56,71	56,65	55,38	55,45	55,15	55,27	55,31	588,8	187,89	6203,4	0,27
		3	54,08	56,26	56,27	55,94	56,24	56,18	55,17	55,05	55,07	55,31	55,15	750,8	242,32	6216,1	0,28
	satur	4	56,00	57,28	57,34	57,36	57,25	57,31	55,68	55,38	55,91	55,80	55,69	656,3	205,62	6588,2	0,27
		5	55,53	55,97	56,06	56,23	56,16	56,11	54,95	54,58	55,02	55,10	54,91	533,2	173,07	6457,0	0,26
													Média:	592,7	188,17	6175,8	0,27
													Desvio Padrão:	103	33,629	348,1	0,03
													Coeficiente de Variação:	0,17	0,18	0,06	0,12

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Z			Y		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	9,0	56,36	6262,2	10,2	55,45	5436,3	9,1	55,57	6106,6
2	8,8	55,57	6314,8	10,1	55,02	5447,5	8,7	53,97	6203,4
3	9,2	56,11	6098,9	8,6	53,70	6244,2	8,7	54,08	6216,1
4	8,6	55,50	6453,5	9,0	54,96	6106,7	8,5	56,00	6588,2
5	8,5	55,47	6525,9	---	---	---	8,6	55,53	6457,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	303,07	476,94	476,39	2740	2743	0,32	0,12
	2	306,36	482,75	482,21	2734	2737	0,31	0,11
	3	298,19	469,72	469,20	2735	2738	0,30	0,11
	4	304,21	480,88	480,32	2719	2722	0,32	0,12
	5	300,12	473,49	473,06	2729	2731	0,25	0,09
	Média				2731	2734	0,30	0,11
EIXO Z	1	308,35	486,90	486,44	2724	2727	0,26	0,09
	2	291,80	458,92	458,58	2744	2746	0,20	0,07
	3	292,00	459,44	459,03	2741	2744	0,24	0,09
	4	305,85	483,36	482,92	2721	2723	0,25	0,09
	Média				2733	2735	0,24	0,09
EIXO Y	1	306,63	487,17	486,66	2696	2698	0,28	0,10
	2	295,13	463,68	463,23	2748	2751	0,27	0,10
	3	289,41	455,81	455,35	2736	2739	0,28	0,10
	4	310,25	488,13	487,65	2741	2744	0,27	0,10
	5	294,43	464,06	463,62	2733	2736	0,26	0,09
	Média				2731	2734	0,27	0,10

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Quartzito Ouro Preto - QOP data: 25/5/2004
Procedência: Ouro Preto, MG (Empresa Quartzito Ouro Preto)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	71,58	70,52	70,56	70,69	70,48	70,56	70,60	70,47	70,63	70,78	70,62	1139,2	228,61	3615,2	0,56
		2	72,06	72,39	72,15	71,92	72,15	72,15	70,85	71,22	71,43	71,14	71,16	1259,2	245,24	4165,3	0,41
	satur	3	71,96	72,61	73,03	72,88	72,46	72,75	71,93	72,01	72,08	72,42	72,11	1122,0	213,89	5493,1	0,59
		4	72,93	72,55	72,81	72,52	72,35	72,56	71,56	71,70	71,67	71,66	71,65	1531,3	294,55	6077,5	0,40
Y	seco	1	70,01	70,68	70,71	70,55	70,57	70,63	70,41	70,66	70,65	70,49	70,55	1177,1	236,23	3448,8	0,85
		2	72,53	72,79	73,00	72,93	72,57	72,82	72,89	72,81	72,52	72,87	72,77	1331,5	251,25	4029,4	0,45
	satur	3	71,33	71,59	71,64	71,37	71,52	71,53	71,08	71,28	71,10	71,22	71,17	1155,7	227,01	5846,7	0,47
		4	71,60	70,70	71,08	71,27	70,82	70,97	71,15	71,10	71,00	71,27	71,13	975,5	193,24	5868,9	0,45
Z	seco	1	71,90	73,56	73,61	73,57	73,55	73,57	73,51	73,61	73,60	73,68	73,60	1196,8	221,02	3224,2	0,43
		2	73,97	73,34	73,36	73,59	73,58	73,47	73,41	73,57	73,61	73,52	73,53	983,3	182,02	3056,6	0,25
	satur	3	73,18	73,64	73,58	73,59	73,51	73,58	73,14	73,55	73,59	73,53	73,45	1016,7	188,11	6098,3	0,23
		4	72,64	73,41	73,61	73,52	73,53	73,52	73,44	73,58	73,70	73,61	73,58	910,3	168,27	6003,3	0,29
													Média:	1149,9	220,79	4743,9	0,45
													Desvio Padrão:	172,6	34,955	1250,3	0,17
													Coeficiente de Variação:	0,15	0,16	0,26	0,37

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	19,8	71,58	3615,2	20,3	70,01	3448,8	22,3	71,90	3224,2
2	17,3	72,06	4165,3	18,0	72,53	4029,4	24,2	73,97	3056,6
3	13,1	71,96	5493,1	12,2	71,33	5846,7	12,0	73,18	6098,3
4	12,0	72,93	6077,5	12,2	71,60	5868,9	12,1	72,64	6003,3

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	613,90	968,1	966,10	2728	2733	0,56	0,21
	2	639,50	1007,1	1005,6	2736	2740	0,41	0,15
	3	650,70	1026,0	1023,8	2728	2734	0,59	0,21
	4	656,80	1034,1	1032,6	2737	2741	0,40	0,15
	Média				2732	2737	0,49	0,18
EIXO Y	1	588,50	930,5	927,60	2712	2721	0,85	0,31
	2	663,10	1044,6	1042,9	2734	2738	0,45	0,16
	3	624,90	984,4	982,70	2734	2738	0,47	0,17
	4	624,80	984,1	982,50	2734	2739	0,45	0,16
	Média				2728	2734	0,55	0,20
EIXO Z	1	521,90	822,1	820,80	2734	2739	0,43	0,16
	2	545,10	859,0	858,20	2734	2737	0,25	0,09
	3	536,60	847,1	846,40	2726	2728	0,23	0,08
	4	531,30	838,3	837,40	2728	2731	0,29	0,11
	Média				2730	2733	0,30	0,11

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Marrom Café Imperial - MCF data: 2/6/2004
Procedência: Caldas, MG (Empresa Da Paz)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	74,37	75,36	75,23	75,18	74,83	75,15	73,21	73,33	73,20	73,07	73,20	717,8	130,47	4707,0	1,06
		2	75,35	75,28	75,57	75,08	75,28	75,30	75,87	75,74	75,70	76,05	75,84	670,1	117,34	4485,1	0,94
		3	74,88	75,48	74,94	75,09	75,12	75,16	75,40	75,38	75,29	75,60	75,42	651,3	114,90	4622,2	0,93
	satur	4	75,41	75,48	75,43	75,54	75,41	75,47	75,08	75,39	75,48	75,06	75,25	611,5	107,68	6130,9	0,75
		5	75,82	75,37	75,64	75,40	75,61	75,51	75,70	75,75	75,80	76,16	75,85	475,1	82,95	6114,5	0,35
Y	seco	1	75,33	76,06	76,11	75,90	75,88	75,99	75,81	75,82	75,93	76,28	75,96	674,4	116,83	4737,7	0,95
		2	75,52	74,64	74,76	74,77	74,59	74,69	75,99	75,86	75,53	75,76	75,79	616,3	108,88	4633,1	0,94
	satur	3	75,27	74,99	74,78	75,00	74,67	74,86	75,27	75,33	75,31	75,32	75,31	440,3	78,10	6119,5	0,81
		4	74,65	74,62	74,69	74,77	74,39	74,62	75,22	75,26	75,21	75,27	75,24	468,3	83,40	6118,9	0,72
Z	seco	1	74,80	75,61	75,40	75,51	75,38	75,48	75,55	75,59	75,63	75,63	75,60	817,9	143,34	4065,2	0,96
		2	74,73	72,97	73,08	73,39	72,79	73,06	75,50	75,61	75,51	75,60	75,56	829,3	150,24	4395,9	0,95
		3	74,46	75,23	75,18	75,37	75,34	75,28	74,88	75,03	74,89	74,96	74,94	969,0	171,76	4279,3	0,94
	satur	4	74,31	74,74	74,75	74,89	74,71	74,77	74,68	74,77	74,65	74,69	74,70	581,8	104,17	6755,5	0,73
		5	75,15	75,61	75,64	75,64	75,70	75,65	75,70	75,56	75,53	75,82	75,65	585,4	102,28	6709,8	0,68
													Média:	650,6	115,17	5276,8	0,84
													Desvio Padrão:	148,5	26,71	977,2	0,18
													Coeficiente de Variação:	0,23	0,23	0,19	0,22

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	15,8	74,37	4707,0	15,9	75,33	4737,7	18,4	74,80	4065,2
2	16,8	75,35	4485,1	16,3	75,52	4633,1	17,0	74,73	4395,9
3	16,2	74,88	4622,2	12,3	75,27	6119,5	17,4	74,46	4279,3
4	12,3	75,41	6130,9	12,2	74,65	6118,9	11,0	74,31	6755,5
5	12,4	75,82	6114,5	---	---	---	11,2	75,15	6709,8

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	734,80	1142,0	1137,7	2794	2805	1,06	0,38
	2	771,00	1198,6	1194,6	2794	2803	0,94	0,33
	3	764,20	1185,6	1181,7	2804	2813	0,93	0,33
	4	766,60	1190,8	1187,6	2800	2807	0,75	0,27
	5	780,70	1208,5	1207,0	2821	2825	0,35	0,12
	Média				2803	2811	0,80	0,29
EIXO Y	1	784,00	1216,4	1212,3	2804	2813	0,95	0,34
	2	769,50	1194,5	1190,5	2801	2811	0,94	0,34
	3	762,10	1184,0	1180,6	2798	2806	0,81	0,29
	4	753,10	1169,8	1166,8	2800	2807	0,72	0,26
	Média				2801	2809	0,85	0,30
EIXO Z	1	769,70	1195,0	1190,9	2800	2810	0,96	0,34
	2	743,90	1154,9	1151,0	2800	2810	0,95	0,34
	3	755,80	1172,7	1168,8	2804	2813	0,94	0,33
	4	746,30	1158,5	1155,5	2803	2811	0,73	0,26
	5	772,60	1201,1	1198,2	2796	2803	0,68	0,24
	Média				2801	2809	0,85	0,30

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Marrom Caldas - MCD
Procedência: Caldas, MG (Empresa Caldas Gran)

data: 2/6/2004

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	74,81	73,19	73,52	73,85	73,57	73,53	74,17	73,80	73,84	74,04	73,96	688,7	126,63	4795,5	0,92
		2	70,35	73,64	73,49	73,40	73,61	73,54	73,96	74,67	74,66	74,24	74,38	826,0	151,01	4452,5	0,97
	satur	3	74,93	74,38	74,35	74,43	74,50	74,42	72,27	72,57	72,65	72,62	72,53	657,5	121,82	6091,9	0,75
		4	74,18	74,33	74,56	74,19	74,31	74,35	74,32	74,54	74,69	74,17	74,43	670,5	121,17	5982,3	0,76
Y	seco	1	73,50	74,46	74,36	74,41	74,46	74,42	74,09	74,22	74,06	73,84	74,05	1038,6	188,45	4298,2	0,92
		2	70,87	73,60	73,73	73,68	73,56	73,64	73,82	73,81	73,91	73,89	73,86	804,8	147,97	4572,3	0,97
	satur	3	73,43	75,08	75,08	75,07	75,19	75,11	76,05	76,46	75,51	75,22	75,81	845,3	148,46	5921,8	0,74
		4	70,86	73,07	73,16	73,26	73,24	73,18	73,53	73,78	73,88	73,73	73,73	656,3	121,62	6005,1	0,71
Z	seco	1	74,83	72,49	72,63	72,41	72,45	72,50	74,85	74,83	74,83	74,83	74,84	905,9	166,97	4890,8	0,92
		2	72,41	73,57	73,56	73,52	73,61	73,57	72,77	72,85	72,91	72,96	72,87	876,7	163,53	4859,7	0,93
	satur	3	72,87	74,20	74,01	73,95	74,21	74,09	73,50	73,83	73,95	73,98	73,82	799,7	146,22	5924,4	0,75
		4	74,65	73,39	73,56	73,91	73,89	73,69	75,53	75,60	75,75	75,61	75,62	824,8	148,01	5924,6	0,80
													Média:	799,55	145,99	5309,9	0,84
													Desvio Padrão:	115,8	20,80	714,9	0,10
													Coeficiente de Variação:	0,14	0,14	0,13	0,12

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

CP	Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais								
	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	15,6	74,81	4795,5	17,1	73,50	4298,2	15,3	74,83	4890,8
2	15,8	70,35	4452,5	15,5	70,87	4572,3	14,9	72,41	4859,7
3	12,3	74,93	6091,9	12,4	73,43	5921,8	12,3	72,87	5924,4
4	12,4	74,18	5982,3	11,8	70,86	6005,1	12,6	74,65	5924,6

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	718,20	1121,3	1117,6	2773	2782	0,92	0,33
	2	675,30	1058,7	1055,0	2752	2761	0,97	0,35
	3	713,50	1114,0	1111,0	2774	2782	0,75	0,27
	4	725,90	1134,2	1131,1	2770	2778	0,76	0,27
	Média				2767	2776	0,85	0,31
EIXO Y	1	717,20	1120,0	1116,3	2771	2781	0,92	0,33
	2	679,10	1062,0	1058,3	2764	2774	0,97	0,35
	3	744,00	1160,3	1157,2	2780	2787	0,74	0,27
	4	672,00	1052,0	1049,3	2761	2768	0,71	0,26
	Média				2769	2777	0,84	0,30
EIXO Z	1	736,70	1140,0	1136,3	2818	2827	0,92	0,33
	2	689,10	1075,8	1072,2	2773	2782	0,93	0,34
	3	710,40	1108,1	1105,1	2779	2786	0,75	0,27
	4	737,50	1150,3	1147,0	2779	2787	0,80	0,29
	Média				2787	2795	0,85	0,31

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Preto Apiaí - PA data: 21/10/2004
Procedência: Apiaí, SP (Empresa Poli - Granitos)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	59,91	60,22	60,09	60,53	60,55	60,35	62,34	62,47	62,01	61,59	62,10	873,6	233,10	6051,5	0,35
		2	59,27	61,23	61,09	61,21	61,05	61,15	60,53	60,15	60,16	59,76	60,15	796,3	216,50	6110,3	0,37
		3	60,65	60,89	60,89	61,14	61,23	61,04	62,69	61,89	62,01	62,68	62,32	1036,9	272,60	6188,8	0,35
	satur	4	60,36	62,11	62,79	62,02	62,70	62,41	60,63	60,47	60,68	61,28	60,77	826,3	217,90	7185,7	0,26
		5	59,71	63,06	62,72	62,58	61,89	62,56	61,25	60,89	61,74	61,44	61,33	876,1	228,33	7281,7	0,26
Y	seco	1	60,05	62,24	62,69	61,29	61,60	61,96	60,76	60,70	61,07	60,63	60,79	759,1	201,54	6321,1	0,31
		2	60,45	62,36	62,91	62,47	61,62	62,34	61,89	62,01	62,75	62,76	62,35	770,3	198,16	6106,1	0,30
		3	61,11	59,91	61,04	60,89	61,58	60,86	58,80	59,88	60,03	61,18	59,97	942,5	258,25	6300,0	0,31
	satur	4	59,91	62,24	61,46	60,47	61,27	61,36	60,05	60,54	60,31	59,76	60,17	803,7	217,69	7396,3	0,27
		5	60,99	62,21	62,85	61,46	61,92	62,11	62,01	62,02	61,50	61,12	61,66	711,7	185,83	7260,7	0,21
Z	seco	1	61,07	60,02	59,20	60,00	60,76	60,00	62,86	62,04	60,69	61,23	61,71	674,6	182,23	5987,3	0,27
		2	61,21	60,70	59,84	60,06	60,76	60,34	61,81	60,85	60,72	59,99	60,84	909,5	247,72	6001,0	0,35
		3	61,01	61,46	60,41	60,32	61,27	60,87	60,67	60,40	61,28	61,59	60,99	825,1	222,29	5923,3	0,27
	satur	4	61,17	61,36	61,38	60,90	60,83	61,12	60,22	60,63	59,48	58,94	59,82	593,1	162,22	7112,8	0,22
		5	60,49	62,00	62,23	61,70	62,61	62,14	62,37	61,90	61,78	62,29	62,09	683,4	177,15	7288,0	0,17
													Média:	805,5	214,77	6567,6	0,28
													Desvio Padrão:	114,3	30,987	592,4	0,06
													Coeficiente de Variação:	0,14	0,14	0,09	0,20

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	9,9	59,91	6051,5	9,5	60,05	6321,1	10,2	61,07	5987,3
2	9,7	59,27	6110,3	9,9	60,45	6106,1	10,2	61,21	6001,0
3	9,8	60,65	6188,8	9,7	61,11	6300,0	10,3	61,01	5923,3
4	8,4	60,36	7185,7	8,1	59,91	7396,3	8,6	61,17	7112,8
5	8,2	59,71	7281,7	8,4	60,99	7260,7	8,3	60,49	7288,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	460,67	686,70	685,90	3035	3038	0,35	0,12
	2	442,40	661,30	660,50	3017	3021	0,37	0,12
	3	472,80	704,20	703,40	3040	3043	0,35	0,11
	4	469,00	698,70	698,10	3039	3042	0,26	0,09
	5	467,80	697,50	696,90	3034	3037	0,26	0,09
	Média				3033	3036	0,32	0,10
EIXO Y	1	463,77	690,50	689,80	3042	3045	0,31	0,10
	2	487,60	723,60	722,90	3063	3066	0,30	0,10
	3	464,50	688,70	688,00	3069	3072	0,31	0,10
	4	458,10	680,70	680,10	3055	3058	0,27	0,09
	5	480,90	714,90	714,40	3053	3055	0,21	0,07
	Média				3056	3059	0,28	0,09
EIXO Z	1	458,20	683,00	682,40	3036	3038	0,27	0,09
	2	463,00	690,30	689,50	3033	3037	0,35	0,12
	3	466,70	693,00	692,40	3060	3062	0,27	0,09
	4	456,70	680,70	680,20	3037	3039	0,22	0,07
	5	484,20	717,70	717,30	3072	3074	0,17	0,06
	Média				3047	3050	0,26	0,08

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Preto Piracaia - PP data: 22/10/2004
Procedência: Piracaia, SP (Empresa Maciel)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	64,45	66,35	66,49	65,83	65,97	66,16	64,43	64,66	63,31	63,58	64,00	548,6	129,57	5604,3	0,22
		2	64,46	66,78	67,12	66,28	66,76	66,74	64,77	64,67	63,45	63,41	64,08	475,5	111,20	5156,8	0,25
		3	64,14	64,58	65,81	65,25	65,15	65,20	63,11	62,99	61,64	61,48	62,31	435,8	107,28	5529,3	0,23
	satur	4	64,65	66,65	66,93	66,16	66,85	66,65	62,99	63,08	61,55	61,87	62,37	329,8	79,34	6042,1	0,22
		5	64,62	68,46	68,98	67,53	68,14	68,28	66,43	66,40	66,15	66,30	66,32	342,6	75,66	5983,3	0,17
Y	seco	1	66,43	65,64	66,34	66,56	67,40	66,49	65,63	64,85	66,08	65,71	65,57	522,7	119,89	5230,7	0,21
		2	65,89	66,72	67,54	67,34	68,14	67,44	65,19	65,22	65,67	65,40	65,37	538,0	122,04	5230,7	0,24
		3	64,36	67,52	66,76	67,77	67,28	67,33	66,56	66,62	67,37	67,48	67,01	455,5	100,95	5229,4	0,24
	satur	4	65,66	68,08	68,39	68,96	69,46	68,72	64,95	64,82	65,28	64,92	64,99	388,2	86,90	5695,6	0,17
		5	65,04	65,40	65,41	65,42	65,31	65,39	64,91	64,77	65,58	65,51	65,19	353,2	82,86	5862,5	0,22
Z	seco	1	64,92	64,45	64,74	64,42	64,42	64,51	66,33	66,04	64,79	64,96	65,53	608,2	143,87	5032,6	0,26
		2	65,27	65,56	65,40	65,32	65,52	65,45	64,57	66,09	64,76	66,12	65,39	552,8	129,16	4907,5	0,21
		3	66,31	65,93	65,19	65,48	65,99	65,65	63,98	63,90	63,88	63,90	63,92	496,8	118,40	4840,1	0,22
	satur	4	66,07	65,84	65,98	65,29	65,64	65,69	61,65	61,69	61,83	61,79	61,74	390,1	96,19	5328,2	0,15
		5	66,15	62,55	63,38	62,93	61,90	62,69	64,15	64,93	64,66	65,00	64,69	398,1	98,17	5466,9	0,19
													Média:	455,7	106,77	5409,3	0,21
													Desvio Padrão:	87,2	20,468	373,9	0,03
													Coeficiente de Variação:	0,19	0,19	0,07	0,15

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	11,5	64,45	5604,3	12,7	66,43	5230,7	12,9	64,92	5032,6
2	12,5	64,46	5156,8	12,6	65,89	5229,4	13,3	65,27	4907,5
3	11,6	64,14	5529,3	11,3	64,36	5695,6	13,7	66,31	4840,1
4	10,7	64,65	6042,1	11,2	65,66	5862,5	12,4	66,07	5328,2
5	10,8	64,62	5983,3	11,2	65,04	5807,1	12,1	66,15	5466,9

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	518,40	791,10	790,50	2899	2901	0,22	0,08
	2	524,70	801,00	800,30	2896	2899	0,25	0,09
	3	494,10	755,00	754,40	2892	2894	0,23	0,08
	4	507,80	776,10	775,50	2890	2893	0,22	0,08
	5	554,60	846,80	846,30	2896	2898	0,17	0,06
	Média				2895	2897	0,22	0,08
EIXO Y	1	548,40	837,20	836,60	2897	2899	0,21	0,07
	2	551,10	841,50	840,80	2895	2898	0,24	0,08
	3	550,50	840,00	839,30	2899	2902	0,24	0,08
	4	556,90	849,70	849,20	2900	2902	0,17	0,06
	5	526,60	803,70	803,10	2898	2900	0,22	0,07
	Média				2898	2900	0,22	0,07
EIXO Z	1	518,70	793,00	792,30	2888	2891	0,26	0,09
	2	527,80	807,00	806,40	2888	2890	0,21	0,07
	3	526,20	804,40	803,80	2889	2891	0,22	0,07
	4	508,10	776,50	776,10	2892	2893	0,15	0,05
	5	506,40	774,20	773,70	2889	2891	0,19	0,06
	Média				2889	2891	0,20	0,07

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Azul Fantástico - AF data: 3/5/2004
Procedência: Bragança Paulista, SP (Empresa Braminas)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	71,20	71,52	71,92	71,55	71,63	71,66	71,36	71,29	71,37	71,39	71,35	945,2	184,86	4944,4	0,47
		2	70,07	69,29	68,74	68,75	69,66	69,11	69,29	69,39	69,44	69,19	69,33	880,4	183,74	4934,5	0,30
	satur	3	71,03	68,08	67,96	68,61	69,03	68,42	68,82	68,69	69,88	69,01	69,10	609,9	129,00	5822,1	0,39
		4	71,03	68,75	69,36	69,38	68,73	69,06	70,35	70,27	70,27	70,33	70,31	647,8	133,43	5968,9	0,41
Y	seco	1	69,56	71,13	71,12	70,93	71,08	71,07	71,73	71,75	71,93	71,95	71,84	958,0	187,65	5040,6	0,43
		2	70,84	69,49	69,45	70,51	70,06	69,88	70,73	70,75	70,73	70,66	70,72	837,9	169,55	5208,8	0,34
	satur	3	68,63	71,72	71,54	71,46	71,60	71,58	71,62	71,41	71,51	72,06	71,65	536,9	104,69	6073,5	0,40
		4	71,03	71,67	71,61	71,79	71,77	71,71	72,10	72,58	72,28	72,22	72,30	624,9	120,53	5870,2	0,36
Z	seco	1	70,16	71,57	71,21	71,20	71,13	71,28	71,72	72,15	71,83	71,60	71,83	856,3	167,26	5084,1	0,45
		2	70,21	70,73	70,89	70,80	70,82	70,81	71,24	71,13	70,95	71,35	71,17	911,6	180,89	5278,9	0,31
	satur	3	70,33	68,80	69,00	68,85	68,69	68,84	71,20	70,88	70,71	71,03	70,96	635,9	130,20	6115,7	0,41
		4	69,66	68,50	68,51	69,32	69,39	68,93	69,24	69,16	69,13	69,06	69,15	482,5	101,23	5805,0	0,42
													Média:	743,9	149,42	5512,2	0,39
													Desvio Padrão:	170,2	32,766	467,7	0,05
													Coeficiente de Variação:	0,23	0,22	0,08	0,13

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	14,4	71,20	4944,4	13,8	69,56	5040,6	13,8	70,16	5084,1
2	14,2	70,07	4934,5	13,6	70,84	5208,8	13,3	70,21	5278,9
3	12,2	71,03	5822,1	11,3	68,63	6073,5	11,5	70,33	6115,7
4	11,9	71,03	5968,9	12,1	71,03	5870,2	12,0	69,66	5805,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	616,80	977,80	976,10	2704	2709	0,47	0,17
	2	569,70	902,10	901,10	2711	2714	0,30	0,11
	3	570,50	901,80	900,50	2718	2722	0,39	0,14
	4	588,20	930,80	929,40	2713	2717	0,41	0,15
	Média				2711	2715	0,39	0,15
EIXO Y	1	605,80	957,40	955,90	2719	2723	0,43	0,16
	2	595,20	943,20	942,00	2707	2710	0,34	0,13
	3	601,30	951,30	949,90	2714	2718	0,40	0,15
	4	630,50	996,30	995,00	2720	2724	0,36	0,13
	Média				2715	2719	0,38	0,14
EIXO Z	1	611,70	968,40	966,80	2710	2715	0,45	0,17
	2	594,40	947,20	946,10	2682	2685	0,31	0,12
	3	589,70	930,20	928,80	2728	2732	0,41	0,15
	4	567,60	897,40	896,00	2717	2721	0,42	0,16
	Média				2709	2713	0,40	0,15

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Azul Sucuru - AZS data: 3/5/2004
Procedência: Distrito de Sucuru, Sumé, PB (Empresa CDRM)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	69,32	70,18	70,25	70,25	70,22	70,23	69,20	69,23	69,26	69,27	69,24	737,2	151,6	5590,3	0,03
		2	70,34	69,82	69,92	69,73	69,81	69,82	71,57	71,80	71,93	71,83	71,78	678,1	135,3	5813,2	0,09
	satur	3	68,67	70,71	70,76	70,96	70,74	70,79	71,51	71,95	71,80	71,64	71,73	564,6	111,2	6242,7	0,20
		4	70,56	72,46	71,93	71,98	72,43	72,20	72,77	72,68	72,45	72,58	72,62	688,5	131,3	6135,7	0,16
Y	seco	1	70,24	71,04	71,35	71,28	71,25	71,23	69,64	69,61	70,29	70,48	70,01	1057	211,9	5757,4	0,06
		2	70,04	71,23	71,26	71,32	71,44	71,31	71,75	72,03	71,95	71,78	71,88	1229	239,7	5694,3	0,17
	satur	3	69,85	70,66	70,58	70,53	70,64	70,60	70,71	70,66	70,61	70,67	70,66	1022	204,9	6181,4	0,14
		4	66,97	70,47	70,35	70,19	70,21	70,31	71,14	71,18	71,17	71,14	71,16	1030	205,8	6144,0	0,18
Z	seco	1	69,29	65,41	65,37	65,57	65,62	65,49	71,15	70,61	70,70	71,05	70,88	1081	232,8	5679,5	0,13
		2	70,51	71,02	71,91	70,95	70,90	71,20	70,81	70,93	70,79	70,90	70,86	1245	246,7	5732,5	0,06
	satur	3	70,67	72,12	71,76	71,75	71,93	71,89	71,82	70,98	71,27	72,47	71,64	941,9	182,9	6040,2	0,17
		4	70,25	70,33	70,11	70,30	70,74	70,37	71,23	71,84	72,25	71,43	71,69	910,3	180,4	6056,0	0,17
													Média:	931,9	186,21	5922,3	0,13
													Desvio Padrão:	221,2	45,287	232,1	0,06
													Coeficiente de Variação:	0,24	0,24	0,04	0,44

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	12,4	69,32	5590,3	12,2	70,24	5757,4	12,2	69,29	5679,5
2	12,1	70,34	5813,2	12,3	70,04	5694,3	12,3	70,51	5732,5
3	11,0	68,67	6242,7	11,3	69,85	6181,4	11,7	70,67	6040,2
4	11,5	70,56	6135,7	10,9	66,97	6144,0	11,6	70,25	6056,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	559,50	893,10	893,00	2677	2677	0,03	0,01
	2	586,10	936,60	936,30	2671	2672	0,09	0,03
	3	581,70	928,20	927,50	2677	2679	0,20	0,08
	4	618,50	986,60	986,00	2679	2680	0,16	0,06
	Média				2676	2677	0,12	0,04
EIXO Y	1	583,30	931,60	931,40	2674	2675	0,06	0,02
	2	596,70	953,90	953,30	2669	2670	0,17	0,06
	3	580,90	927,10	926,60	2676	2678	0,14	0,05
	4	556,50	887,60	887,00	2679	2681	0,18	0,07
	Média				2675	2676	0,14	0,05
EIXO Z	1	536,80	853,20	852,80	2695	2697	0,13	0,05
	2	586,30	937,30	937,10	2670	2670	0,06	0,02
	3	600,70	959,10	958,50	2674	2676	0,17	0,06
	4	586,90	936,60	936,00	2677	2678	0,17	0,06
	Média				2679	2680	0,13	0,05

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Jacarandá Rosado - JR data: 28/10/2004
Procedência: Itapeva, MG (Empresa Braminas)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	65,11	66,49	66,31	66,68	66,94	66,61	66,04	65,40	65,80	66,69	65,98	757,1	172,3	4859,0	0,39
		2	65,00	66,89	66,96	66,08	66,32	66,56	66,75	65,67	66,63	65,46	66,13	638,0	144,9	4676,3	0,77
		3	65,06	65,51	65,47	66,97	66,89	66,21	65,56	66,08	66,09	66,65	66,10	664,6	151,9	5043,4	0,80
	satur	4	65,97	67,14	66,36	67,20	66,26	66,74	66,23	66,80	66,52	66,71	66,57	574,9	129,4	5736,5	0,68
		5	64,72	66,52	66,64	67,03	66,94	66,78	65,12	65,06	65,60	65,26	65,26	541,5	124,2	5883,6	0,71
		6	65,22	67,07	66,73	66,06	66,15	66,50	65,73	65,35	66,11	65,63	65,71	469,4	107,4	5671,3	0,70
Y	seco	1	64,92	66,46	67,02	66,86	67,12	66,87	65,22	65,75	65,47	65,62	65,52	653,7	149,2	5032,6	0,60
		2	65,28	66,11	66,42	65,70	65,55	65,95	65,44	65,50	65,72	65,31	65,49	692,7	160,4	4597,2	0,74
	satur	3	64,39	65,55	65,59	65,88	65,91	65,73	65,83	65,92	65,59	66,10	65,86	510,8	118,0	5907,3	0,75
		4	64,89	66,45	66,20	66,93	67,11	66,67	65,84	65,87	66,42	66,69	66,21	448,2	101,5	5642,6	0,77
Z	seco	1	66,07	66,46	66,99	65,87	65,07	66,10	63,27	63,43	64,88	65,23	64,20	666,7	157,1	4930,6	0,75
		2	65,70	66,74	66,19	67,32	67,07	66,83	63,07	63,14	63,26	63,09	63,14	682,9	161,8	5132,8	0,65
		3	65,97	65,11	65,72	66,36	66,98	66,04	66,62	66,72	65,93	65,93	66,30	716,1	163,5	4850,7	0,73
	satur	4	65,45	66,40	66,42	66,93	66,88	66,66	65,33	65,44	65,45	65,43	65,41	598,7	137,3	5594,0	0,70
		5	65,35	66,83	66,75	66,88	66,34	66,70	63,97	63,09	64,32	63,19	63,64	504,7	118,9	5732,5	0,68
		6	63,80	66,57	66,45	66,36	66,48	66,47	63,83	63,12	63,60	63,41	63,49	460,7	109,2	5316,7	0,74
													Média:	598,8	137,9	5287,9	0,70
													Desvio Padrão:	99,0	22,733	447,8	0,10
													Coeficiente de Variação:	0,17	0,16	0,08	0,14

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	13,4	65,11	4859,0	12,9	64,92	5032,6	13,4	66,07	4930,6
2	13,9	65,00	4676,3	14,2	65,28	4597,2	12,8	65,70	5132,8
3	12,9	65,06	5043,4	10,9	64,39	5907,3	13,6	65,97	4850,7
4	11,5	65,97	5736,5	11,5	64,89	5642,6	11,7	65,45	5594,0
5	11,0	64,72	5883,6		---	---	11,4	65,35	5732,5
6	11,5	65,22	5671,3		---	---	12,0	63,80	5316,7

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	461,66	747,00	745,90	2614	2618	0,39	0,15
	2	469,80	757,00	754,80	2628	2636	0,77	0,29
	3	469,00	756,80	754,50	2622	2630	0,80	0,30
	4	474,90	769,80	767,80	2604	2610	0,68	0,26
	5	464,30	747,10	745,10	2635	2642	0,71	0,27
	6	470,10	755,80	753,80	2638	2645	0,70	0,27
	Média				2623	2630	0,67	0,26
EIXO Y	1	466,20	750,80	749,10	2632	2638	0,60	0,23
	2	461,60	744,50	742,40	2624	2632	0,74	0,28
	3	457,10	735,60	733,50	2634	2641	0,75	0,29
	4	465,70	752,30	750,10	2617	2625	0,77	0,29
	Média				2627	2634	0,72	0,27
EIXO Z	1	461,90	743,30	741,20	2634	2641	0,75	0,28
	2	463,20	740,50	738,70	2664	2670	0,65	0,24
	3	472,50	761,40	759,30	2628	2636	0,73	0,28
	4	475,90	761,90	759,90	2657	2664	0,70	0,26
	5	456,80	734,70	732,80	2637	2644	0,68	0,26
	6	442,70	712,60	710,60	2633	2640	0,74	0,28
	Média				2642	2649	0,71	0,27

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Kashimir - KA data: 21/10/2004
Procedência: Nova Venécia, ES (Empresa Gramacap)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	73,03	71,35	70,96	71,39	72,04	71,44	72,29	73,06	73,77	74,30	73,36	532,6	101,6	4742,2	0,68
		2	72,64	71,66	71,27	71,78	71,96	71,67	74,01	73,47	74,44	74,61	74,13	535,4	100,8	4568,6	0,70
	satur	3	72,93	71,80	71,52	71,58	72,04	71,74	72,22	72,19	72,30	72,46	72,29	431,7	83,2	5697,7	0,66
		4	73,03	72,14	71,79	72,20	72,37	72,13	75,22	75,07	73,57	74,18	74,51	472,8	88,0	5661,2	0,64
Y	seco	1	72,87	74,33	74,36	74,10	74,27	74,27	73,40	72,74	72,13	73,01	72,82	776,7	143,6	4701,3	0,76
		2	73,01	74,35	74,69	75,09	74,35	74,62	73,62	72,76	73,25	73,71	73,34	666,6	121,8	4710,3	0,70
	satur	3	72,46	73,61	73,50	73,54	73,68	73,58	74,41	73,42	74,33	73,51	73,92	507,2	93,2	5705,5	0,61
		4	72,81	74,11	73,48	73,71	74,05	73,84	74,41	73,46	73,37	73,89	73,78	504,5	92,6	5733,1	0,61
Z	seco	1	72,99	74,08	74,80	75,66	74,87	74,85	73,97	74,28	74,65	74,60	74,38	705,1	126,6	4678,8	0,74
		2	71,88	74,31	74,75	75,31	75,33	74,93	73,08	73,35	73,98	73,71	73,53	550,9	100,0	4578,3	0,76
	satur	3	72,43	74,09	74,13	74,83	75,05	74,53	74,17	74,30	74,18	74,01	74,17	482,0	87,2	5571,5	0,63
		4	71,83	74,79	75,13	75,51	75,35	75,20	73,70	73,72	74,30	74,08	73,95	484,3	87,1	5792,7	0,58
													Média:	554,1	102,2	5178,4	0,67
													Desvio Padrão:	105,4	18,808	542,6	0,06
													Coeficiente de Variação:	0,19	0,18	0,10	0,09

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	15,4	73,03	4742,2	15,5	72,87	4701,3	15,6	72,99	4678,8
2	15,9	72,64	4568,6	15,5	73,01	4710,3	15,7	71,88	4578,3
3	12,8	72,93	5697,7	12,7	72,46	5705,5	13,0	72,43	5571,5
4	12,9	73,03	5661,2	12,7	72,81	5733,1	12,4	71,83	5792,7

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	629,4	1010,9	1008,3	2643	2650	0,68	0,26
	2	637,0	1023,6	1020,9	2641	2648	0,70	0,26
	3	622,8	1001,0	998,5	2640	2647	0,66	0,25
	4	641,0	1032,1	1029,6	2633	2639	0,64	0,24
	Média				2639	2646	0,67	0,25
EIXO Y	1	644,9	1037,8	1034,8	2634	2641	0,76	0,29
	2	655,6	1054,0	1051,2	2639	2646	0,70	0,27
	3	645,2	1038,2	1035,8	2636	2642	0,61	0,23
	4	651,1	1047,0	1044,6	2639	2645	0,61	0,23
	Média				2637	2643	0,67	0,25
EIXO Z	1	667,1	1072,2	1069,2	2639	2647	0,74	0,28
	2	651,8	1047,5	1044,5	2640	2647	0,76	0,29
	3	657,3	1056,4	1053,9	2641	2647	0,63	0,24
	4	653,2	1050,5	1048,2	2638	2644	0,58	0,22
	Média				2639	2646	0,68	0,26

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Preto São Gabriel - PSG data: 25/5/2004
Procedência: São Rafael, ES (Empresa Gramasini)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	64,96	64,58	64,66	64,58	64,88	64,68	65,56	65,77	65,66	65,45	65,61	537,0	126,54	5800,0	0,47
		2	64,76	65,60	65,71	65,70	65,65	65,67	63,08	63,13	63,04	63,03	63,07	510,3	123,22	5582,8	0,60
	satur	3	64,51	66,02	66,10	65,91	65,85	65,97	65,18	65,19	65,20	65,11	65,17	450,0	104,67	6202,9	0,43
		4	64,04	64,31	64,63	64,70	64,62	64,57	63,64	63,62	63,48	63,52	63,57	368,5	89,79	6278,4	0,38
Y	seco	1	65,94	65,56	65,61	65,74	65,52	65,61	65,33	65,32	65,14	65,26	65,26	482,7	112,74	5784,2	0,46
		2	64,99	66,20	66,51	66,34	66,19	66,31	67,20	67,40	67,23	67,09	67,23	465,8	104,47	5802,7	0,45
	satur	3	64,79	66,22	65,83	66,34	66,24	66,16	66,41	65,83	66,08	66,35	66,17	424,1	96,88	6352,0	0,36
		4	64,47	63,46	63,40	63,59	63,53	63,50	65,08	65,24	65,26	64,84	65,11	325,6	78,75	6447,0	0,45
Z	seco	1	64,06	65,55	65,36	65,46	65,45	65,46	65,42	65,61	65,67	65,74	65,61	411,4	95,79	5619,3	0,59
		2	65,04	65,93	66,57	65,43	65,12	65,76	66,05	66,06	66,05	66,06	66,06	470,4	108,28	5807,1	0,46
	satur	3	64,33	65,75	65,54	65,77	65,83	65,72	64,62	64,88	64,89	64,77	64,79	352,6	82,81	6012,1	0,84
		4	65,25	65,14	65,54	65,76	65,63	65,52	66,56	66,63	66,97	66,92	66,77	396,5	90,64	5986,2	0,42
													Média:	432,9	101,21	5972,9	0,49
													Desvio Padrão:	64,7	14,969	288,5	0,13
													Coeficiente de Variação:	0,1	0,15	0,05	0,26

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	11,2	64,96	5800,0	11,4	65,94	5784,2	11,4	64,06	5619,3
2	11,6	64,76	5582,8	11,2	64,99	5802,7	11,2	65,04	5807,1
3	10,4	64,51	6202,9	10,2	64,79	6352,0	10,7	64,33	6012,1
4	10,2	64,04	6278,4	10,0	64,47	6447,0	10,9	65,25	5986,2

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	511,70	785,40	784,10	2865	2870	0,47	0,17
	2	498,90	765,60	764,00	2865	2871	0,60	0,21
	3	516,80	792,70	791,50	2869	2873	0,43	0,15
	4	488,40	749,40	748,40	2867	2871	0,38	0,13
	Média				2866	2871	0,47	0,17
EIXO Y	1	525,60	806,80	805,50	2865	2869	0,46	0,16
	2	537,30	824,50	823,20	2866	2871	0,45	0,16
	3	526,50	808,10	807,10	2866	2870	0,36	0,12
	4	496,30	761,40	760,20	2868	2872	0,45	0,16
	Média				2866	2870	0,43	0,15
EIXO Z	1	506,30	779,50	777,90	2847	2853	0,59	0,21
	2	525,00	806,10	804,80	2863	2868	0,46	0,16
	3	508,20	780,60	778,30	2857	2866	0,84	0,30
	4	528,60	811,50	810,30	2864	2869	0,42	0,15
	Média				2858	2864	0,58	0,20

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Rosa Itupeva - RI
Procedência: Itupeva, SP (Empresa Poli-Granitos)

data: 27/10/2004

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	74,88	74,23	74,37	74,24	74,14	74,25	74,00	73,33	74,48	73,70	73,88	637,3	116,2	4680,0	0,83
		2	74,56	73,72	73,70	73,36	73,68	73,62	74,28	73,97	74,47	73,85	74,14	588,6	107,8	4719,0	0,84
	satur	3	74,23	74,50	75,04	75,39	75,78	75,18	76,37	75,98	75,47	74,87	75,67	431,0	75,8	5710,0	0,71
		4	74,44	74,23	74,34	74,49	74,51	74,39	76,26	76,25	75,76	75,48	75,94	445,0	78,8	5639,4	0,74
Y	seco	1	73,16	75,77	75,95	74,50	74,31	75,13	74,70	74,09	75,01	74,56	74,59	662,4	118,2	4180,6	0,83
		2	73,11	72,93	72,73	72,86	72,68	72,80	74,63	74,10	73,55	73,43	73,93	538,6	100,1	4177,7	0,82
	satur	3	73,63	73,78	73,99	74,26	73,98	74,00	73,71	74,21	76,13	75,44	74,87	419,3	75,7	5335,5	0,71
		4	73,97	74,32	74,10	74,25	74,05	74,18	73,78	73,88	73,01	72,93	73,40	392,7	72,1	5360,1	0,89
Z	seco	1	69,10	71,06	70,08	71,22	70,42	70,70	70,69	70,64	69,96	70,09	70,35	515,3	103,6	4971,2	0,78
		2	69,49	72,19	72,31	72,30	72,41	72,30	68,94	69,28	69,06	68,97	69,06	601,4	120,4	4825,7	0,84
	satur	3	69,45	71,66	72,23	72,20	72,60	72,17	69,72	69,82	70,76	70,27	70,14	346,3	68,4	5836,1	0,65
		4	71,32	72,89	72,89	72,96	72,68	72,86	70,79	70,67	70,60	70,67	70,68	375,5	72,9	5705,6	0,66
													Média:	496,1	92,5	5095,1	0,77
													Desvio Padrão:	108,6	20,336	588,1	0,08
													Coeficiente de Variação:	0,22	0,22	0,12	0,10

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	16,0	74,88	4680,0	17,5	73,16	4180,6	13,9	69,10	4971,2
2	15,8	74,56	4719,0	17,5	73,11	4177,7	14,4	69,49	4825,7
3	13,0	74,23	5710,0	13,8	73,63	5335,5	11,9	69,45	5836,1
4	13,2	74,44	5639,4	13,8	73,97	5360,1	12,5	71,32	5705,6

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	674,0	1084,7	1081,3	2633	2641	0,83	0,31
	2	662,6	1067,8	1064,4	2627	2635	0,84	0,32
	3	689,8	1112,0	1109,0	2627	2634	0,71	0,27
	4	686,1	1105,9	1102,8	2627	2634	0,74	0,28
	Média				2628	2636	0,78	0,30
EIXO Y	1	670,7	1080,4	1077,0	2629	2637	0,83	0,32
	2	642,6	1034,9	1031,7	2630	2638	0,82	0,31
	3	665,8	1072,6	1069,7	2630	2637	0,71	0,27
	4	652,5	1058,3	1054,7	2599	2608	0,89	0,34
	Média				2622	2630	0,81	0,31
EIXO Z	1	564,5	909,0	906,3	2631	2639	0,78	0,30
	2	567,6	913,9	911,0	2631	2639	0,84	0,32
	3	573,1	924,4	922,1	2625	2631	0,65	0,25
	4	599,1	965,4	963,0	2629	2636	0,66	0,25
	Média				2629	2636	0,73	0,28

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Vermelho Bragança - VB data: 25/5/2004
Procedência: Bragança Paulista, SP (Empresa Braminas)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	64,70	64,73	64,69	64,92	65,85	65,05	66,15	66,18	65,92	65,83	66,02	973,6	226,71	4722,6	0,81
		2	64,19	65,26	65,33	65,21	65,22	65,26	65,69	65,06	66,02	66,21	65,75	847,5	197,54	4651,4	0,76
	satur	3	64,28	66,23	66,27	66,37	66,22	66,27	66,05	66,18	66,05	66,16	66,11	828,9	189,19	5791,0	0,71
		4	64,37	66,55	66,54	66,71	66,68	66,62	65,81	65,72	65,47	65,65	65,66	686,7	156,98	5799,1	0,68
Y	seco	1	66,81	65,71	65,89	65,51	65,56	65,67	64,47	64,37	64,89	64,63	64,59	982,9	231,72	4876,6	0,75
		2	66,25	66,54	66,21	66,73	66,73	66,55	64,51	64,62	65,10	64,69	64,73	788,5	183,03	4981,2	0,78
	satur	3	65,66	66,54	66,42	66,77	66,51	66,56	64,81	64,67	64,96	65,03	64,87	575,9	133,38	6194,3	0,71
		4	65,07	66,57	66,72	66,72	66,22	66,56	65,06	65,33	65,20	65,27	65,22	659,5	151,94	5969,7	0,75
Z	seco	1	65,42	64,55	64,53	64,50	64,46	64,51	65,10	64,89	65,10	65,54	65,16	898,5	213,75	4480,8	0,81
		2	64,93	64,37	64,83	64,98	64,01	64,55	64,72	64,79	65,02	65,07	64,90	919,9	219,59	4572,5	0,78
	satur	3	65,85	64,15	64,03	64,06	63,95	64,05	64,30	64,27	64,88	64,85	64,58	562,2	135,92	5676,7	0,78
		4	66,08	63,79	63,63	63,60	63,60	63,66	63,93	63,93	64,15	64,41	64,11	656,8	160,96	5696,6	0,75
													Média:	781,7	183,39	5284,4	0,76
													Desvio Padrão:	149,8	35,192	623,0	0,04
													Coeficiente de Variação:	0,19	0,19	0,12	0,05

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	13,7	64,70	4722,6	13,7	66,81	4876,6	14,6	65,42	4480,8
2	13,8	64,19	4651,4	13,3	66,25	4981,2	14,2	64,93	4572,5
3	11,1	64,28	5791,0	10,6	65,66	6194,3	11,6	65,85	5676,7
4	11,1	64,37	5799,1	10,9	65,07	5969,7	11,6	66,08	5696,6

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	441,70	712,60	710,40	2622	2630	0,81	0,31
	2	449,81	724,50	722,40	2630	2638	0,76	0,29
	3	457,98	737,90	735,90	2629	2636	0,71	0,27
	4	456,80	735,80	733,90	2630	2637	0,68	0,26
	Média				2628	2635	0,74	0,28
EIXO Y	1	460,50	741,60	739,50	2631	2638	0,75	0,28
	2	462,88	745,80	743,60	2628	2636	0,78	0,30
	3	459,20	739,80	737,80	2629	2636	0,71	0,27
	4	459,40	740,00	737,90	2630	2637	0,75	0,28
	Média				2630	2637	0,75	0,28
EIXO Z	1	447,08	720,20	718,00	2629	2637	0,81	0,31
	2	443,82	714,60	712,50	2631	2639	0,78	0,29
	3	442,70	713,20	711,10	2629	2637	0,78	0,30
	4	439,40	707,70	705,70	2630	2638	0,75	0,28
	Média				2630	2638	0,78	0,29

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Vermelho Capão Bonito - VCB data: 3/5/2004
Procedência: Capão Bonito, SP (Empresa Betogran)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	69,75	69,25	69,28	69,65	69,79	69,49	71,13	71,57	71,00	70,97	71,17	587,3	118,75	4305,6	0,32
		2	68,74	69,70	68,82	69,11	69,38	69,25	70,47	70,67	70,50	70,53	70,54	704,9	144,29	4463,6	0,33
	satur	3	67,81	70,05	70,60	70,35	70,32	70,33	70,25	70,36	70,42	70,41	70,36	525,1	106,11	5746,6	0,54
		4	70,08	69,84	69,64	69,75	69,68	69,73	70,32	70,87	70,65	70,24	70,52	554,3	112,73	5791,7	0,55
Y	seco	1	70,09	70,05	70,11	70,19	70,03	70,10	70,69	70,56	70,14	70,43	70,46	599,8	121,44	4704,0	0,46
		2	67,33	69,66	69,72	69,67	69,76	69,70	70,44	70,19	70,18	70,27	70,27	727,1	148,44	4775,2	0,09
	satur	3	66,87	69,22	69,06	69,20	69,11	69,15	69,84	69,82	69,48	69,61	69,69	449,3	93,24	6191,7	0,53
		4	69,86	69,10	69,20	69,24	69,34	69,22	70,81	71,16	70,76	70,67	70,85	518,6	105,74	5920,3	0,50
Z	seco	1	68,19	69,31	69,05	69,11	69,08	69,14	67,65	67,66	67,57	67,55	67,61	548,2	117,28	4802,1	0,54
		2	67,73	70,37	70,17	70,13	70,17	70,21	70,35	70,49	70,44	70,08	70,34	642,1	130,02	5017,0	0,51
	satur	3	67,48	69,83	70,10	70,54	70,94	70,35	69,86	69,90	70,03	69,89	69,92	521,0	105,91	5971,7	0,58
		4	68,84	69,67	69,67	69,76	69,78	69,72	70,48	70,52	70,72	70,61	70,58	536,5	109,02	6038,6	0,54
													Média:	576,2	117,75	5310,7	0,46
													Desvio Padrão:	81,05	16,33	691,7	0,14
													Coeficiente de Variação:	0,14	0,14	0,13	0,31

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	16,2	69,75	4305,6	14,9	70,09	4704,0	14,2	68,19	4802,1
2	15,4	68,74	4463,6	14,1	67,33	4775,2	13,5	67,73	5017,0
3	11,8	67,81	5746,6	10,8	66,87	6191,7	11,3	67,48	5971,7
4	12,1	70,08	5791,7	11,8	69,86	5920,3	11,4	68,84	6038,6

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	559,10	901,80	900,70	2628	2631	0,32	0,12
	2	543,10	876,10	875,00	2628	2631	0,33	0,13
	3	545,50	879,40	877,60	2628	2634	0,54	0,21
	4	560,20	903,10	901,20	2628	2634	0,55	0,21
	Média				2628	2632	0,44	0,17
EIXO Y	1	560,90	905,50	903,90	2623	2628	0,46	0,18
	2	525,10	847,10	846,80	2630	2631	0,09	0,04
	3	521,70	841,40	839,70	2627	2632	0,53	0,20
	4	537,50	896,50	894,70	2492	2497	0,50	0,20
	Média				2593	2597	0,40	0,15
EIXO Z	1	514,00	831,00	829,30	2616	2621	0,54	0,20
	2	541,30	874,50	872,80	2619	2625	0,51	0,19
	3	537,50	866,50	864,60	2628	2634	0,58	0,22
	4	543,10	875,70	873,90	2627	2633	0,54	0,21
	Média				2623	2628	0,54	0,21

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Verde Candeias - VCD data: 27/10/2004
Procedência: Candeias, MG (Empresa Graniservice)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	57,94	58,83	59,13	58,94	59,02	58,98	60,14	60,79	59,82	60,28	60,26	534,0	150,2	5852,5	0,19
		2	58,44	59,98	60,44	59,39	59,49	59,83	60,99	61,15	60,58	60,80	60,88	558,9	153,4	5619,2	0,14
		3	58,09	59,47	59,45	59,46	59,48	59,47	60,65	61,16	60,30	60,68	60,70	494,0	136,9	5867,7	0,14
		4	58,82	58,79	58,70	58,62	58,46	58,64	59,85	59,84	60,15	59,87	59,93	628,9	179,0	5766,7	0,19
	satur	5	58,93	58,87	58,90	58,97	58,80	58,89	58,89	58,63	58,87	58,44	58,71	433,6	125,4	6336,6	0,20
		6	59,43	59,16	59,19	59,18	59,12	59,16	59,26	59,17	59,25	59,03	59,18	465,1	132,8	6459,8	0,19
		7	58,84	58,29	58,24	58,35	58,28	58,29	58,24	57,96	58,23	57,96	58,10	420,9	124,3	6611,2	0,15
Y	seco	1	56,14	59,33	58,96	57,91	58,39	58,65	59,89	60,15	59,88	60,13	60,01	675,8	192,0	5909,5	0,20
		2	58,02	60,32	60,78	59,21	59,74	60,01	60,00	60,29	60,23	60,03	60,14	567,7	157,3	5744,6	0,19
		3	59,31	60,17	60,14	60,06	60,14	60,13	59,86	60,57	60,47	60,88	60,45	691,2	190,2	5814,7	0,14
		4	59,51	61,62	60,95	60,76	60,89	61,06	61,02	61,01	60,09	60,04	60,54	632,6	171,1	5667,6	0,18
	satur	5	57,80	61,00	60,05	60,07	60,74	60,47	58,25	58,23	58,40	58,41	58,32	390,9	110,8	6351,6	0,20
		6	58,99	59,42	59,83	59,67	59,77	59,67	57,98	57,95	58,26	58,31	58,13	453,5	130,7	6343,0	0,15
		7	59,45	57,98	58,04	57,95	57,76	57,93	60,00	60,52	59,52	60,06	60,03	475,1	136,6	6392,5	0,24
Z	seco	1	59,21	58,84	58,90	59,14	59,05	58,98	59,17	60,08	59,44	60,08	59,69	606,3	172,2	5804,9	0,19
		2	59,36	58,89	58,16	58,74	59,44	58,81	57,80	58,76	58,32	59,06	58,49	639,9	186,0	5877,2	0,10
		3	58,48	59,90	59,44	60,90	60,55	60,20	58,87	58,70	57,75	57,77	58,27	493,8	140,8	5414,8	0,20
		4	57,94	59,69	59,75	59,97	60,07	59,87	59,90	59,63	59,09	58,80	59,36	566,1	159,3	5625,2	0,19
	satur	5	58,08	60,72	60,12	59,76	60,13	60,18	60,65	60,43	60,19	59,81	60,27	453,0	124,9	6178,7	0,24
		6	57,68	60,06	59,95	60,27	60,45	60,18	60,68	60,67	59,78	59,95	60,27	511,9	141,1	6554,5	0,19
		7	58,15	60,87	60,95	61,26	60,68	60,94	60,76	61,00	60,82	60,73	60,83	418,5	112,9	6461,1	0,13
													Média:	529,1	149,0	6031,1	0,18
													Desvio Padrão:	90,5	25,073	361,8	0,04
													Coeficiente de Variação:	0,17	0,17	0,06	0,20

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	9,9	57,94	5852,5	9,5	56,14	5909,5	10,2	59,21	5804,9
2	10,4	58,44	5619,2	10,1	58,02	5744,6	10,1	59,36	5877,2
3	9,9	58,09	5867,7	10,2	59,31	5814,7	10,8	58,48	5414,8
4	10,2	58,82	5766,7	10,5	59,51	5667,6	10,3	57,94	5625,2
5	9,3	58,93	6336,6	9,1	57,80	6351,6	9,4	58,08	6178,7
6	9,2	59,43	6459,8	9,3	58,99	6343,0	8,8	57,68	6554,5
7	8,9	58,84	6611,2	9,3	59,45	6392,5	9,0	58,15	6461,1

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	349,0	554,2	553,8	2699	2701	0,19	0,07
	2	358,0	569,5	569,2	2691	2693	0,14	0,05
	3	351,8	560,3	560,0	2686	2687	0,14	0,05
	4	348,8	554,9	554,5	2690	2692	0,19	0,07
	5	345,4	548,7	548,3	2697	2699	0,20	0,07
	6	351,8	559,7	559,3	2690	2692	0,19	0,07
	7	335,5	534,2	533,9	2687	2688	0,15	0,06
	Média				2692	2693	0,17	0,06
EIXO Y	1	336,6	534,1	533,7	2702	2704	0,20	0,07
	2	352,9	562,0	561,6	2686	2688	0,19	0,07
	3	365,2	580,3	580,0	2696	2698	0,14	0,05
	4	370,0	589,7	589,3	2682	2684	0,18	0,07
	5	344,2	547,7	547,3	2689	2691	0,20	0,07
	6	346,2	549,7	549,4	2700	2701	0,15	0,05
	7	347,3	553,7	553,2	2680	2683	0,24	0,09
	Média				2691	2693	0,19	0,07
EIXO Z	1	355,2	563,3	562,9	2705	2707	0,19	0,07
	2	342,8	546,0	545,8	2686	2687	0,10	0,04
	3	343,0	547,1	546,7	2679	2681	0,20	0,07
	4	346,0	551,2	550,8	2684	2686	0,19	0,07
	5	353,2	563,9	563,4	2674	2676	0,24	0,09
	6	353,2	562,0	561,6	2690	2692	0,19	0,07
	7	336,6	575,9	575,6	2405	2407	0,13	0,05
	Média				2646	2648	0,18	0,07

Normas: Determinação da Resistência a Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Verde Camacho - VCM data: 28/10/2004
Procedência: Camacho, MG (Empresa Gêmeos Engenharia Ltda)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	59,08	58,89	58,74	59,01	58,93	58,89	60,57	60,42	61,00	60,20	60,55	602,7	169,0	5680,8	0,38
		2	59,33	58,96	59,70	60,15	59,45	59,57	58,50	58,61	58,80	58,85	58,69	629,0	179,9	5760,2	0,34
		3	59,35	59,34	59,12	59,59	59,49	59,39	60,85	60,28	60,10	59,40	60,16	630,1	176,4	5652,4	0,42
	satur	4	59,44	59,52	59,50	59,83	60,03	59,72	61,44	61,36	61,02	60,57	61,10	517,9	141,9	6391,4	0,32
		5	59,50	60,18	60,65	59,24	59,80	59,97	60,11	61,04	60,92	61,61	60,92	493,8	135,2	6397,8	0,32
		6	59,28	61,11	60,84	60,12	60,49	60,64	61,18	61,61	61,74	61,91	61,61	482,8	129,2	6443,5	0,27
Y	seco	1	58,33	58,04	58,39	59,40	58,81	58,66	60,25	60,37	60,49	60,47	60,40	526,6	148,6	5255,0	0,43
		2	59,67	59,33	59,04	60,03	59,28	59,42	60,49	60,83	60,17	60,10	60,40	586,6	163,5	5424,5	0,42
	satur	3	58,32	58,81	58,64	59,00	58,71	58,79	60,25	60,33	60,34	60,80	60,43	617,0	173,7	6339,1	0,29
		4	59,42	60,47	60,14	60,47	60,68	60,44	58,65	58,64	58,39	58,06	58,44	481,5	136,3	6254,7	0,38
Z	seco	1	57,76	59,77	59,58	59,76	59,75	59,72	60,18	60,38	59,38	59,44	59,85	671,0	187,8	5718,8	0,34
		2	58,98	59,38	59,81	59,99	60,24	59,86	61,25	61,21	60,67	60,64	60,94	581,9	159,5	5564,2	0,42
		3	58,25	59,95	60,66	60,48	61,03	60,53	60,81	61,06	60,45	60,72	60,76	608,5	165,5	5547,6	0,42
	satur	4	58,54	60,54	59,99	60,33	60,66	60,38	61,00	60,30	59,97	60,04	60,33	546,1	149,9	6363,0	0,33
		5	58,35	59,93	60,24	60,88	60,61	60,42	60,25	60,33	59,57	59,51	59,92	512,5	141,6	6207,4	0,33
		6	58,14	59,21	59,23	59,96	59,76	59,54	60,09	60,10	60,89	61,20	60,57	489,3	135,7	6389,0	0,38
													Média:	561,1	155,8	5961,8	0,36
													Desvio Padrão:	61,9	18,409	418,8	0,05
													Coeficiente de Variação:	0,11	0,12	0,07	0,14

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	10,4	59,08	5680,8	11,1	58,33	5255,0	10,1	57,76	5718,8
2	10,3	59,33	5760,2	11,0	59,67	5424,5	10,6	58,98	5564,2
3	10,5	59,35	5652,4	9,2	58,32	6339,1	10,5	58,25	5547,6
4	9,3	59,44	6391,4	9,5	59,42	6254,7	9,2	58,54	6363,0
5	9,3	59,50	6397,8		---	---	9,4	58,35	6207,4
6	9,2	59,28	6443,5		---	---	9,1	58,14	6389,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	347,00	558,10	557,30	2640	2644	0,38	0,14
	2	343,50	551,60	550,90	2647	2651	0,34	0,13
	3	350,50	563,50	562,60	2641	2646	0,42	0,16
	4	357,50	574,40	573,70	2645	2648	0,32	0,12
	5	357,70	574,50	573,80	2647	2650	0,32	0,12
	6	364,20	585,40	584,80	2644	2646	0,27	0,10
	Média				2644	2647	0,34	0,13
EIXO Y	1	340,40	548,00	547,10	2635	2640	0,43	0,16
	2	352,00	566,00	565,10	2641	2645	0,42	0,16
	3	342,50	549,90	549,30	2649	2651	0,29	0,11
	4	346,10	556,30	555,50	2643	2647	0,38	0,14
	Média				2642	2646	0,38	0,14
EIXO Z	1	342,30	548,60	547,90	2656	2659	0,34	0,13
	2	354,10	568,50	567,60	2647	2652	0,42	0,16
	3	353,10	566,90	566,00	2647	2652	0,42	0,16
	4	352,10	565,00	564,30	2651	2654	0,33	0,12
	5	348,20	559,10	558,40	2648	2651	0,33	0,13
	6	346,20	555,20	554,40	2653	2656	0,38	0,14
	Média				2650	2654	0,37	0,14

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Verde Maritaca - VM data: 22/10/2004
Procedência: Camacho, MG (Empresa ENAGRAM)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	64,13	65,29	64,51	65,21	65,71	65,18	66,02	66,29	66,40	66,41	66,28	861,4	199,4	5883,5	0,33
		2	64,72	66,13	66,07	66,44	66,63	66,32	65,25	66,39	64,84	65,63	65,53	609,5	140,2	5778,6	0,32
		3	64,33	63,15	63,31	63,00	63,23	63,17	65,57	65,81	65,56	65,75	65,67	588,6	141,9	5692,9	0,34
	satur	4	64,87	66,60	66,89	67,62	67,06	67,04	66,15	66,68	66,82	67,31	66,74	591,4	132,2	6619,4	0,21
		5	64,65	66,06	64,87	65,51	65,84	65,57	65,87	66,11	65,86	65,78	65,91	501,0	115,9	6596,9	0,32
		6	65,99	64,64	64,69	64,82	64,90	64,76	65,39	65,42	65,37	65,27	65,36	431,4	101,9	6533,7	0,34
Y	seco	1	66,08	67,31	66,47	67,71	67,15	67,16	64,47	64,84	64,44	64,48	64,56	728,5	168,0	5329,0	0,38
		2	63,22	64,02	64,39	64,17	64,29	64,22	65,12	65,02	65,28	65,08	65,13	779,9	186,5	5224,8	0,38
		3	64,47	64,36	65,59	65,77	64,88	65,15	66,12	64,39	66,96	66,03	65,88	731,4	170,4	5116,7	0,36
	satur	4	64,85	65,88	64,82	65,95	64,77	65,36	67,00	66,35	67,87	67,27	67,12	565,8	129,0	6420,8	0,25
		5	63,94	64,81	65,75	65,51	64,46	65,13	66,26	66,71	66,33	66,62	66,48	490,9	113,4	5812,7	0,32
Z	seco	1	65,68	67,03	66,81	65,72	66,18	66,44	65,87	66,13	66,35	66,22	66,14	783,3	178,3	5296,8	0,31
		2	65,50	66,95	66,36	65,17	65,49	65,99	65,80	65,94	66,10	66,52	66,09	880,6	201,9	5458,3	0,32
		3	65,76	64,47	64,72	66,10	65,65	65,24	65,45	65,03	65,89	65,42	65,45	742,5	173,9	5178,0	0,36
	satur	4	65,70	64,89	64,72	64,70	64,82	64,78	66,19	66,40	64,73	64,97	65,57	503,9	118,6	6441,2	0,22
		5	65,31	64,14	63,97	64,11	63,97	64,05	66,23	66,31	64,84	64,95	65,58	519,6	123,7	6402,9	0,22
		6	65,37	65,96	65,84	64,80	64,94	65,39	65,73	65,70	64,43	64,72	65,15	481,7	113,1	6167,0	0,29
													Média:	634,8	147,5	5879,6	0,31
													Desvio Padrão:	143,1	32,834	549,3	0,06
													Coeficiente de Variação:	0,23	0,22	0,09	0,18

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	10,9	64,13	5883,5	12,4	66,08	5329,0	12,4	65,68	5296,8
2	11,2	64,72	5778,6	12,1	63,22	5224,8	12,0	65,50	5458,3
3	11,3	64,33	5692,9	12,6	64,47	5116,7	12,7	65,76	5178,0
4	9,8	64,87	6619,4	10,1	64,85	6420,8	10,2	65,70	6441,2
5	9,8	64,65	6596,9	11,0	63,94	5812,7	10,2	65,31	6402,9
6	10,1	65,99	6533,7	---	----	----	10,6	65,37	6167,0

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	473,5	749,2	748,3	2714	2717	0,33	0,12
	2	474,5	754,0	753,1	2694	2698	0,32	0,12
	3	448,7	714,5	713,6	2685	2688	0,34	0,13
	4	491,7	780,8	780,2	2699	2701	0,21	0,08
	5	464,0	742,0	741,1	2666	2669	0,32	0,12
	6	465,8	744,1	743,2	2670	2673	0,34	0,13
	Média				2688	2691	0,31	0,12
EIXO Y	1	475,2	761,5	760,4	2656	2660	0,38	0,14
	2	437,7	701,6	700,6	2655	2659	0,38	0,14
	3	459,1	737,6	736,6	2645	2648	0,36	0,14
	4	472,0	756,5	755,8	2657	2659	0,25	0,09
	5	458,6	735,9	735,0	2651	2654	0,32	0,12
	Média				2653	2656	0,34	0,13
EIXO Z	1	479,5	768,2	767,3	2658	2661	0,31	0,12
	2	478,6	764,0	763,1	2673	2676	0,32	0,12
	3	472,6	753,4	752,4	2679	2683	0,36	0,13
	4	464,3	742,8	742,2	2665	2667	0,22	0,08
	5	457,0	730,8	730,2	2667	2669	0,22	0,08
	6	460,4	738,1	737,3	2655	2658	0,29	0,11
	Média				2666	2669	0,28	0,11

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)

Dados de Resistência à Compressão Uniaxial, Índices Físicos e Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

Amostra: Verde Veneciano - VV data: 21/10/2004
Procedência: Nova Venécia, ES (Empresa Gramacap)

eixo		CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											F	T	Vp	Por
			h	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	kN	MPa	m/s	%
X	seco	1	71,70	73,65	73,15	73,05	73,30	73,29	71,35	71,85	71,15	71,40	71,44	569,3	108,7	5601,6	0,47
		2	71,70	73,00	73,00	74,15	74,30	73,61	71,00	71,35	70,85	70,10	70,83	340,1	65,2	5736,0	0,40
		3	71,40	74,10	73,50	73,70	74,15	73,86	72,90	72,20	71,54	71,90	72,14	401,2	75,3	5804,9	0,43
	satur	4	72,10	72,90	72,55	73,40	72,80	72,91	71,45	71,70	71,20	71,60	71,49	304,9	58,5	6008,3	0,32
		5	71,33	73,21	73,71	73,64	73,93	73,62	72,08	71,93	73,05	73,36	72,61	372,1	69,6	6202,6	0,29
		6	71,78	73,18	73,78	73,51	74,20	73,67	73,68	73,35	73,88	74,06	73,74	347,7	64,0	6083,1	0,28
Y	seco	1	72,16	72,56	72,53	73,00	73,64	72,93	73,93	73,68	74,41	73,86	73,97	532,5	98,7	5681,9	0,39
		2	72,26	72,47	72,34	73,34	73,56	72,93	73,05	72,21	73,11	72,44	72,70	545,3	102,8	5734,9	0,45
		3	71,47	73,14	73,96	73,19	72,66	73,24	72,86	72,76	73,55	73,98	73,29	532,4	99,2	5672,2	0,39
	satur	4	72,25	71,84	71,90	71,82	71,71	71,82	70,38	70,32	70,39	70,42	70,38	406,3	80,4	6071,4	0,41
		5	71,26	72,27	72,10	72,68	73,02	72,52	74,56	73,77	73,94	73,33	73,90	286,2	53,4	5889,3	0,34
		6	71,54	71,60	71,71	72,53	72,70	72,14	70,98	70,88	71,20	71,23	71,07	316,0	61,6	5863,9	0,35
Z	seco	1	73,05	71,16	70,86	71,71	72,19	71,48	72,70	72,96	73,34	72,21	72,80	499,7	96,0	5797,6	0,37
		2	72,76	73,25	73,05	72,20	72,50	72,75	69,80	70,70	70,79	71,32	70,65	550,2	107,0	5684,4	0,40
		3	72,48	69,62	69,08	70,03	70,66	69,85	70,87	71,46	71,43	71,38	71,29	411,5	82,6	5662,5	0,31
	satur	4	72,21	69,85	69,19	70,45	70,99	70,12	73,09	73,33	73,66	73,37	73,36	254,8	49,5	6068,1	0,38
		5	72,51	68,21	69,13	69,58	70,21	69,28	72,65	72,97	73,80	73,58	73,25	242,0	47,7	5943,4	0,30
		6	72,76	67,73	68,18	68,77	69,32	68,50	72,37	72,87	73,23	73,60	73,02	387,0	77,4	6013,2	0,25
													Média:	405,5	77,7	5862,2	0,36
													Desvio Padrão:	108,3	20,367	179,9	0,06
													Coeficiente de Variação:	0,27	0,26	0,03	0,17

Taxa de carregamento
202,5 kN/min

Velocidade de propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais									
CP	X			Y			Z		
	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)	t (µs)	h (mm)	Vp (m/s)
1	12,8	71,70	5601,6	12,7	72,16	5681,9	12,6	73,05	5797,6
2	12,5	71,70	5736,0	12,6	72,26	5734,9	12,8	72,76	5684,4
3	12,3	71,40	5804,9	12,6	71,47	5672,2	12,8	72,48	5662,5
4	12,0	72,10	6008,3	11,9	72,25	6071,4	11,9	72,21	6068,1
5	11,5	71,33	6202,6	12,1	71,26	5889,3	12,2	72,51	5943,4
6	11,8	71,78	6083,1	12,2	71,54	5863,9	12,1	72,76	6013,2

		peso (g)			massa esp. (kg/m^3)		porosidade	abs. d'água
		sub (A)	sat (B)	seco (C)	seca	satur	%	%
EIXO X	1	665,8	1028,4	1026,7	2831	2836	0,47	0,17
	2	631,1	1003,3	1001,8	2692	2696	0,40	0,15
	3	670,3	1046,5	1044,9	2778	2782	0,43	0,15
	4	662,0	1037,2	1036,0	2761	2764	0,32	0,12
	5	671,8	1050,5	1049,4	2771	2774	0,29	0,10
	6	686,8	1076,3	1075,2	2760	2763	0,28	0,10
	Média				2766	2769	0,36	0,13
EIXO Y	1	695,2	1082,1	1080,6	2793	2797	0,39	0,14
	2	682,9	1064,3	1062,6	2786	2791	0,45	0,16
	3	682,4	1064,3	1062,8	2783	2787	0,39	0,14
	4	641,3	1004,0	1002,5	2764	2768	0,41	0,15
	5	672,1	1052,1	1050,8	2765	2769	0,34	0,12
	6	653,8	1020,3	1019,0	2780	2784	0,35	0,13
	Média				2779	2782	0,39	0,14
EIXO Z	1	675,9	1055,2	1053,8	2778	2782	0,37	0,13
	2	663,7	1035,3	1033,8	2782	2786	0,40	0,15
	3	641,5	1001,3	1000,2	2780	2783	0,31	0,11
	4	643,8	1013,0	1011,6	2740	2744	0,38	0,14
	5	652,7	1018,9	1017,8	2779	2782	0,30	0,11
	6	643,0	1003,7	1002,8	2780	2783	0,25	0,09
	Média				2773	2777	0,33	0,12

Fórmulas utilizadas:

m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

Normas: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial - NBR 12.767 (ABNT, 1992); Determinação dos Índices Físicos - NBR 12.766 (ABNT, 1992); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais - D 2845 (ASTM, 1995)