



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



## **TESE DE DOUTORADO**

**Técnicas de Processamento Digital de Imagens com Aplicação no  
Setor das Rochas Ornamentais**

**AUTOR:** Marcos Santos Campello

**ORIENTAÇÃO:** Dr. Antônio Gilberto Costa

**CO-ORIENTAÇÃO:** Dra. Ana Clara Mourão Moura

**BELO HORIZONTE  
Março de 2006**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Geologia

Marcos Santos Campello

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO  
DIGITAL DE IMAGENS COM APLICAÇÃO NO SETOR  
DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Minas Gerais – Brasil  
Março – 2006

Tese defendida e aprovada, em 16 de março de 2006, pela Banca Examinadora  
constituída pelos professores:



---

Prof. Dr. Antônio Gilberto Costa - Orientador




---

Profa. Dra. Maria Lourdes Souza Fernandes




---

Prof. Dr. Akihisa Motoki



---

Prof. Dr. Luciano Vieira Dutra



---

Dr. Lúcio Martins Pinto



---

Prof. Esp. Roberto Bruno

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter mantido as portas sempre abertas, permitindo que eu completasse mais essa importante etapa em minha vida;

Agradeço ao Dr. Antônio Gilberto Costa e a Dra. Ana Clara Moura Mourão pela orientação, discussões, paciência e sobretudo, pela liberdade de decisão quanto a opções e caminhos a serem tomados para o desenvolvimento desta Tese de Doutorado;

Agradeço ao Dr. Roberto Bruno pelas técnicas apresentadas, visitas às jazidas italianas, pela ampla assistência durante a permanência na Itália e pelas oportunidades ofertadas.

Ao Dr. Lúcio Martins Pinto, agradeço pelas inúmeras visitas ao CDTN, assistência, discussões, incentivo, reconhecimento, publicações e, é claro, pelo Programa gentilmente disponibilizado - o QUANTIKOV.

Ao Dr. Luciano Dutra, agradeço pelas discussões, sugestões e referências bibliográficas apresentadas.

Ao amigo Charles Resende Freitas, agradeço pelos ensinamentos, discussões e principalmente pela sinceridade quanto às críticas e sugestões que contribuíram de forma definitiva para o desenrolar desta pesquisa.

Ao estudante de Engenharia de Minas, Gustavo Reis Melo, agradeço pelas participações nas etapas de campo, amizade e colaboração na confecção de figuras;

À colega e Professora do Departamento de Cartografia Márcia Maria Magela, agradeço pelo coleguismo, amizade e incentivo.

Ao Professor do Departamento de Cartografia, Marcos Timbó, agradeço pelas assistências e pelos dados de sensor remoto gentilmente cedidos.

À Dra. Lydia Maria Lobato, agradeço pelo incentivo e pela decisiva colaboração quanto ao uso do microscópio petrográfico e câmara digital acoplada.

A minha mãe Bernadete Santos Campello, Professora do Departamento de Ciência da Informação, agradeço pelo apoio, incentivo e pelo auxílio quanto à revisão bibliográfica;

Ao Dr. Carlos Maurício Noce e aos demais membros do Colegiado de Pós-Graduação em Geologia, agradeço pelo amplo apoio oferecido, bem como pelo deferimento de todas as solicitações por mim encaminhadas a este Colegiado;

Agradeço ao Geólogo Francisco Videira e a empresa da mineração Fontex Importadora e Exportadora LTDA, pelas visitas a Pedreira Knawa, informações prestadas, discussões e referências bibliográficas.

A Granasa Empresa de Mineração LTDA, agradeço pelos conjuntos de chapas gentilmente cedidas.

À Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais (CPRM), representada pelos Drs. Nelson Baptista Costa e Clayton Piva Lima, agradeço pela Imagem do Sensor TM cedida;

À Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), agradeço pelo pioneirismo e pela disponibilidade dos tão importantes dados aéreo-geofísicos;

Ao Conselho Nacional de Apoio a Pesquisa o CNPQ, agradeço pelos 42 meses de bolsa concedidos.

Enfim agradeço a todos os(as) amigos(as) e familiares que acreditaram e contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desta Tese de Doutorado.

## RESUMO

O Setor das Rochas Ornamentais representa hoje importante segmento da economia de muitos Estados brasileiros, sendo responsável pela manutenção e criação de empregos, contribuindo para o desenvolvimento de regiões menos favorecidas. As aplicações mais comuns envolvem a construção civil, sobretudo no revestimento de pisos e fachadas sendo esses os usos que agregam maior valor para os materiais produzidos. Nos últimos anos, vem sendo verificada uma forte concorrência imposta pelos materiais artificiais, sobretudo as cerâmicas que apresentam custo menor e maior controle quanto aos parâmetros estéticos (cor e granulação). No entanto, há de se ressaltar uma importante característica dos materiais pétreos naturais – a singularidade de cada peça acabada. Neste cenário, esta Tese de Doutorado tem o objetivo de contribuir para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais, por meio da pesquisa de viabilidade de aplicação das técnicas de Processamento Digital de Imagens. São apresentados procedimentos de classificação e segmentação de imagens digitais de uma seleção de materiais pétreos, com comprovada aplicação no mercado das Rochas Ornamentais, sendo investigadas, em primeiro lugar, as escalas micro (seções delgadas) e mesoscópica (chapas polidas), contribuindo para uma melhor caracterização tecnológica desses materiais. Outra linha de pesquisa dessa Tese é o uso de técnicas de processamento digital de imagens, na escala macroscópica, para promover o Setor das Rochas Ornamentais por meio do geoprocessamento. Nessa linha, é desenvolvido Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) para o Centro Produtor de Candeias-Oliveira, relacionando as principais jazidas às suas características tecnológicas. Esse sistema é também empregado para a confecção de um Mapa de Geopotencialidades Ornamentais com base na infra-estrutura instalada e fatores ambientais. Por fim, são utilizados dados de sensores remotos (aéreo e orbital) para a detecção de alvos com possível valor ornamental, favorecendo a fase inicial da pesquisa mineral, promovendo a busca por novos materiais pétreos com valor no mercado das Rochas Ornamentais.

## ABSTRACT

The Sector of the Ornamental Rocks represents important segment of the economy of many Brazilian States, being responsible for the maintenance and creation of jobs, contributing for the development of less favored regions. The most common applications involve civil construction, especially in the covering of floors and façades, being these the uses that add greater value to the produced materials. In the last years, it is being verified a strong competition imposed by artificial materials, especially ceramics that present lesser cost and bigger control on aesthetic parameters (color and granulation). However, it is necessary to point out an important characteristic of natural stony materials - the singularity of each finished part. In this scene, this Doctorate Thesis has the objective to contribute for the development of the Sector of Ornamental Rocks, by means of viability research for the application of Image Digital Processing techniques. Procedures of classification and segmentation of digital images of selected stony materials are presented, with proven application in the market of Ornamental Rocks, being investigated in the first place, the microscales (thin sections) and mesoscopic (polishing plates), contributing for the better technological characterization of these materials. Another line of research of this Thesis is the use of Image Digital Processing techniques in the macroscopic scale, in order to promote the Sector of Ornamental Rocks by means of the geoprocessing. In this line, a Geographic Information System (SIG) for the Productor Center of Candeias-Oliveira was developed, relating the main deposits to its technological characteristics. This system is also used for the confection of a Map of Ornamental Geopotencialities on the basis of the installed infrastructure and environmental factors. Finally, remote sensors data (aerial and orbital) are used for the detection of targets with possible ornamental value, favoring the initial phase of the mineral research, promoting the search for new stony materials with value in the market of Ornamental Rocks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Registro de artefatos líticos.....   | 23 |
| Figura 2 - Exemplos de aplicações de Rochas Ornamentais em monumentos da antiguidade  | 24 |
| Figura 3 - Exemplos de jazidas de rochas ornamentais em atividade e com valor histórico ...   | 24 |
| Figura 5 - Detalhe de uma ilustração de Debret, de 1826, intitulada pedreira, representando técnicas de extração nos arredores do Rio de Janeiro..... | 26 |
| Figura 6 - Localização das principais jazidas de granitos, mármore, ardósias e quartzitos no território brasileiro .....                              | 28 |
| Figura 7 - Esboço Geológico e Tectônico, Províncias Estruturais e Principais Jazimentos de Rochas Ornamentais no Brasil.....                          | 30 |
| Figura 8 - Localização dos principais municípios produtores de Rochas Ornamentais nos Estados do Ceará e do Espírito Santo. ....                      | 36 |
| Figura 9 - Localização dos principais municípios produtores de Rochas Ornamentais na Bahia.....   | 38 |
| Figura 10: Exemplos de jazidas visitadas durante as etapas de campo.....  | 43 |
| Figura 11: Labtec Rochas .....  | 44 |
| Figura 12 - Principais centros produtores de rochas ornamentais de Minas Gerais. ....   | 47 |
| Figura 13 - Localização das principais pedreiras em atividade na região do CPCO.....  | 49 |
| Figura 14 - Mapa de contextualização geológica regional. ....   | 50 |
| Figura 15 - Mapa de contextualização geológica do CPCO.....   | 51 |
| Figura 16 - Exemplos de extruturas do CMCB.....   | 52 |
| Figura 17 - Mapa Geológico da região de Medina. ....  | 73 |
| Figura 18 - Mapa Geológico Simplificado da região de Caldas.....  | 77 |
| Figura 19 - Mapa Geológico Simplificado da região de Dores de Guanhões .....  | 80 |
| Figura 20 - Vista da mina recém aberta da variedade Giallo Califórnia .....   | 81 |
| Figura 21 - Mapa Geológico e de localização do Corpo Meta-ultramáfico do Córrego dos Boiadeiros. ....   | 83 |
| Figura 22 - Mina Pedras Congonhas, detalhe para matacão de serpentinito .....   | 84 |
| Figura 23 - Exemplos de áreas de extração de Rochas Ornamentais na Região da Verbânia, Itália.....  | 88 |
| Figura 24 - Tela de entrada dos programas utilizados para classificação das chapas .....  | 95 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 25 - Histogramas (da frequência pelo nível de cinza), nos canais RGB, para as chapas do, Giallo Califórnia e Café Imperial, respectivamente. ....   | 97  |
| Figura 26 - Histograma simples e histograma fatiado, respectivamente – Imagem da Chapa Giallo Califórnia em tons de cinza. ....  | 98  |
| Figura 27 - Representação das chapas – Giallo Califórnia, conforme os intervalos para os níveis de cinza propostos .....   | 98  |
| Figura 28 - Diagrama ternário (ou de três-fases) – PCB, com representação de imagem em tons de cinza para a variedade comercialmente denominada de Rosa Raíssa.....  | 99  |
| Figura 29 - Representações das chapas, dos histogramas das imagens e dos diagramas ternários, para as variedades: Verde São Francisco, Porto Rosa, Café Imperial, Cinza Corumbá, Giallo Califórnia e Rosa Raíssa. .... | 101 |
| Figura 30 - Representações das chapas e dos histogramas a partir de suas imagens digitais para as variedades: Violeta Candeias, Nero Porto Rosa e Café Imperial, respectivamente. .                                    | 102 |
| Figura 31 - Diagramas ternários branco-cinza-preto .....   | 103 |
| Figura 32 - Representação das cores puras RGB em função do Parâmetro H. ....   | 106 |
| Figura 33 - Representação da relação espacial, em diagrama triangular, entre o espaço RGB e IHS.....   | 106 |
| Figura 34 - Exemplos de transformação RGB para IHS no Spring e resultados das médias para cada imagem das chapas no espaço IHS.....  | 108 |
| Figura 35 - Diagramas de correlação .....  | 111 |
| Figura 36 - Representação dos parâmetros IHS em diagrama ternário .....  | 113 |
| Figura 37 - Representações das curvas granulométricas medianas (de um total de 20 para cada amostra) no canal verde (G), da variedades: Violeta Candeias, Nero Porto Rosa e Café Imperial.....                         | 114 |
| Figura 38 - Correlação Média Variância – Canal R .....   | 115 |
| Figura 39 - Representação da digitalização de uma imagem contínua, matriz do tipo [16,16], o pixel na coordenada [m=10, n=4], tem o valor 110 para a variável brilho .....   | 118 |
| Figura 40 - Exemplos de representações de uma mesma imagem binárias, destaque para noção de fundo e contra-fundo .....   | 119 |
| Figura 41 - Exemplos de elementos estruturantes usados nas análises morfológicas de imagens digitais .....   | 120 |
| Figura 42 - Exemplos de operações matemáticas binárias (Booleanas) .....   | 121 |
| Figura 43 - Delineamento da linha de borda de referência para amostra de arenito.....  | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 44 - Ilustração dos diâmetros “ <i>Feret`s</i> ”, máximo e mínimo, correspondentes à largura e ao comprimento respectivamente .....   | 126 |
| Figura 45 - Exemplos de mosaicos confeccionados a partir de fotomicrografias de seções delgadas de variedades ornamentais .....  | 128 |
| Figura 46 - Representação parcial da janela de segmentação do Spring 4.11.....   | 129 |
| Figura 47 - Imagens digitais de seções delgadas de rochas ornamentais .....  | 130 |
| Figura 48 - Imagens digitais de seções delgadas de rochas ornamentais, processadas no Programa Quantikov.....  | 131 |
| Figura 49 - Classes descendentes do geo-campo.....   | 141 |
| Figura 50 - Exemplos de representações de geo-objetos com geometria.....   | 142 |
| Figura 51 - Relacionamento entre classe .....  | 143 |
| Figura 52 - Representações de exemplos de dados vetoriais, na forma de Planos de Informação (PI).....  | 147 |
| Figura 53 A e B - Localização da <b>Área 2</b> no Estado de Minas Gerais .....   | 150 |
| Figura 54 - Localização das duas sub-áreas “ <b>A</b> ” e “ <b>B</b> ” definidas para teste, no CPCO.....  | 153 |
| Figura 55 - Exemplos de composições de bandas nos canais R,G e B (respectivamente) do sensor TM, da região da represa de Cajurú, MG. No quadrante SE, mega-afloramento rochoso, com possível valor ornamental. ....                | 155 |
| Figura 56 - Área teste “ <b>A</b> ”, resultado da combinação entre as bandas ETM+ 7, 5 e 3, respectivamente nos canais R,G e B.....  | 156 |
| Figura 57 - Processo de segmentação de imagem.....   | 157 |
| Figura 58 - Resultado da classificação <i>pixel a pixel</i> , pelo classificador MAXVER, região de Marilândia – MG .....   | 159 |
| Figura 59 - Resultado da classificação da imagem pelo classificador Battacharya para a área “ <b>B</b> ” a partir de uma composição de bandas RGB 753 do sensor TM.....  | 160 |
| Figura 60 - Área Teste “ <b>A</b> ”, gamaespectrometria canal K .....  | 162 |
| Figura 61 - Área Teste “ <b>A</b> ”, maior percentual em K.....  | 163 |
| Figura 62 - Área Teste “ <b>A</b> ”, imagem construída a partir da classe temática afloramentos (Fig. 8.10), filtrada através da imagem da Figura 8.12 (maior percentual em K), através do operador booleano “ <b>AND</b> ”. ..... | 164 |
| Figura 63 - Área “ <b>B</b> ” Primeira Derivada do Campo Magnético Total (1dv) .....   | 165 |
| Figura 64 - Esquema representativo para a fusão dos dados TM com a 1dv do campo magnético total.....   | 166 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 65 - Fusão da banda 7 (sensor TM) com o dado aerogeofísico no espaço IHS – Área Teste “B” .....   | 166 |
| Figura 66 - Principais passos da metodologia empregada .....   | 168 |
| Figura 67 - Complementação de região do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais .....   | 169 |
| Figura 68 - Exemplo de modelo de dados geo-relacional, envolvendo jazidas de rochas ornamentais e características tecnológicas. ....                                 | 175 |
| Figura 69 - Mapas de Distâncias em relação às zonas urbanas .....  | 177 |
| Figura 70 - Mapa de distâncias em relação às rodovias .....  | 178 |
| Figura 71 - Mapas de Distâncias em relação às linhas férreas .....   | 179 |
| Figura 72 - Mapas de Distâncias em relação aos portos de embarque férreos .....  | 180 |
| Figura 73 - Regiões de APP`s - somatório das classes de preservação para o CPCO.....   | 182 |
| Figura 74 - Árvore de decisão para Geopotencialidades Ornamentais do CPCO.....   | 183 |
| Figura 75 - Mapa de Geopotencialidades de Rochas Ornamentais .....   | 186 |
| Figura 76 - Correlação entre os parâmetros “I” e “S” .....   | 189 |
| Figura 77 - Esquema para a classificação estética em escala industrial.....  | 190 |
| Figura 78 - Exemplo de aplicação da classificação estética .....   | 191 |
| Figura 79 - Correlações entre parâmetros discriminantes da forma do grão (extraído pelas microanálises e pelas técnicas de PDI) e características tecnológicas ..... | 193 |
| Figura 80 - Comparação entre os sensores do sistema ASTER e TM, para região do município de Bomfim .....   | 195 |
| Quadro 1 - Relação dos tipos pétreos selecionados para análises.....   | 42  |
| Quadro 2 - Classificação do grau de microfissuramento .....  | 45  |
| Quadro 3 - Relação dos tipos ornamentais produzidos no Centro Produtor de Candeias – Oliveira.....   | 54  |
| Quadro 4 - Tipos ornamentais selecionados provenientes do Centro Produtor do Leste Mineiro.....  | 74  |
| Quadro 5- Tipos ornamentais selecionados provenientes da Região da Verbânia, Itália .....  | 88  |
| Quadro 6 - Relação das operações de manipulação de dados no SIG.....   | 140 |
| Quadro 7 - Características e órbitas do Sistema Landsat (1, 2 e 3) .....   | 145 |
| Quadro 8 - Características e órbitas do Sistema Landsat (4, 5 e 6) .....   | 146 |
| Quadro 9 - Relação dos planos de informação presentes no SIG do Centro Produtor de Rochas Ornamentais de Candeias-Oliveira .....                                     | 171 |
| Quadro 10 - Organização dos dados alfanuméricos, denominação comercial por característica tecnológica .....  | 172 |

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 11 - Exemplo de cadastro urbano proposto por Codd (1972), citado em DPI (2004)<br>.....                                 | 173 |
| Quadro 12 - Técnicas de PDI, nas escalas micro, meso e macroscópica e suas aplicações no<br>setor das rochas ornamentais. .... | 196 |

## LISTA DE TABELAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1 -  | Distribuição municipal das reservas de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo ..... | 33 |
| 2 -  | Valores atribuídos (mínimo e máximo) para os intervalos do grau de microfissuramento .....  | 46 |
| 3 -  | Análise petrográfica - 01 .....   | 55 |
| 4 -  | Características Físico Mecânicas .....  | 56 |
| 5 -  | Análise petrográfica – 02 .....   | 56 |
| 6 -  | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 57 |
| 7 -  | Análise petrográfica – 03 .....   | 58 |
| 8 -  | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 59 |
| 9 -  | Análise petrográfica – 04 .....   | 59 |
| 10 - | Características Físico Mecânicas .....  | 60 |
| 11 - | Análise petrográfica – 05 .....   | 60 |
| 12 - | DeterminaçãoCaracterísticas Físico Mecânicas .....  | 61 |
| 13 - | Análise petrográfica – 06 .....   | 62 |
| 14 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 62 |
| 15 - | Análise petrográfica – 07 .....   | 63 |
| 16 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 63 |
| 17 - | Análise petrográfica – 08 .....   | 64 |
| 18 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 64 |
| 19 - | Análise petrográfica – 09 .....   | 65 |
| 20 - | DeterminaçãoCaracterísticas Físico Mecânicas .....  | 66 |
| 21 - | Análise petrográfica – 10 .....   | 66 |
| 22 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 67 |
| 23 - | Análise petrográfica – 11 .....   | 67 |
| 24 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 68 |
| 25 - | Análise petrográfica – 12 .....   | 68 |
| 26 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....  | 69 |
| 27 - | Análise petrográfica – 13 .....   | 70 |
| 28 - | DeterminaçãoCaracterísticas Físico Mecânicas .....  | 70 |
| 29 - | Análise petrográfica – 14 .....   | 71 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 30 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 71  |
| 31 - | Análise petrográfica – 15 .....  | 74  |
| 32 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 75  |
| 33 - | Análise petrográfica – 16 .....  | 76  |
| 34 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 76  |
| 35 - | Análise petrográfica – 17 .....  | 78  |
| 36 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 79  |
| 37 - | Análise petrográfica – 18 .....  | 81  |
| 38 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 82  |
| 39 - | Análise petrográfica – 19 .....  | 85  |
| 40 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 85  |
| 41 - | Análise petrográfica – 20 .....  | 86  |
| 42 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 86  |
| 43 - | Análise petrográfica – 21 .....  | 89  |
| 44 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 89  |
| 45 - | Análise petrográfica – 22 .....  | 90  |
| 46 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 90  |
| 47 - | Análise petrográfica – 23 .....  | 91  |
| 48 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 91  |
| 49 - | Análise petrográfica – 24 .....  | 92  |
| 50 - | DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas .....   | 92  |
| 51 - | Resultados estatísticos para uma imagem RGB, convertida para o parâmetro “I” ....  | 108 |
| 52 - | Síntese dos resultados da estatística para os canais IHS para as variedades Café Imperial, Nero Porto Rosa e Violeta Candeias .....              | 110 |
| 53 - | Valores estatísticos normalizados para os parâmetros IHS .....   | 112 |
| 54 - | Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras CA_07, SE, ES, GBR_04 e GBR_01 .....       | 133 |
| 55 - | Síntese resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras GBR_03,GBR_06, RV, GRA_01, VC_01 e VC_04 ..... | 134 |
| 56 - | Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras VC_05, VC_09, RO_01, BB_02 e DQ-04.....    | 135 |
| 57 - | Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para a amostra UL. ....                                     | 136 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 58 - | Resultado das microanálises - determinações dos parâmetros discriminantes da forma dos grãos para as amostras analisadas, realizadas através do programa Quantikov... | 137 |
| 59 - | Características espectrais e espaciais, do sensor TM .....  | 149 |
| 60 - | Matriz de erros da classificação - desempenho geral: 94.97 % (Índice Kappa); confusão média: 5.03 %.....  | 161 |
| 61 - | Exemplo de cadastro para as características tecnológicas das rochas ornamentais....   | 174 |
| 62 - | Valores atribuídos para a ponderação – análise de multi-critério .....  | 184 |
| 63 - | Correlações entre os parâmetro extraído pela aplicação das técnicas de PDI pela Caracterização Tecnológica .....  | 192 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO e JUSTIFICATIVAS</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>3</b> | <b>O ESTADO DA ARTE</b> .....   | <b>22</b> |
| 3.1      | Introdução .....  | 22        |
| 3.2      | Histórico .....   | 22        |
| 3.3      | Os Jazimentos Brasileiros e suas Contextualizações Geológicas .....                             | 27        |
| 3.3.1    | O Estado do Espírito Santo - contextualização geológica e localização das jazidas .             | 32        |
| 3.3.2    | O Estado do Ceará - contextualização geológica e localização das jazidas .....                  | 34        |
| 3.3.3    | O Estado da Bahia - contextualização geológica & localização das jazidas .....                  | 37        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....  | <b>39</b> |
| 4.1      | Levantamento Bibliográfico .....  | 39        |
| 4.2      | Levantamento das Bases Operacionais .....   | 40        |
| 4.3      | Escolha dos Materiais Envolvidos .....  | 41        |
| 4.3.1    | Dados de Sensor Remoto .....  | 41        |
| 4.3.2    | Materiais Pétreos .....   | 41        |
| 4.4      | Definição da Área de Enfoque .....  | 43        |
| 4.5      | Etapas de Campo .....   | 43        |
| 4.6      | Caracterização Tecnológica .....  | 44        |
| <b>5</b> | <b>MATERIAIS ENVOLVIDOS</b> .....   | <b>47</b> |
| 5.1      | O Centro Produtor de Candeias – Oliveira .....  | 48        |
| 5.1.1    | Localização .....   | 48        |
| 5.1.2    | Aspectos da Geologia .....  | 49        |
| 5.2      | O Centro Produtor do Nordeste Mineiro, Aspectos da Geologia .....                               | 72        |
| 5.3      | O Centro Produtor de Caldas .....   | 77        |
| 5.4      | O Centro Produtor de Dores de Guanhões – Aspectos da Geologia .....                             | 79        |
| 5.5      | Rochas Meta-Utramáficas do Quadrilátero Ferrífero .....   | 83        |
| 5.6      | O Centro Produtor da Região da Verbânia Cusio Ossola (VCO), Província de Piemonte, Itália ..... | 87        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>6</b> | <b>O USO DE TÉCNICAS DE PDI PARA A CLASSIFICAÇÃO DE CHAPAS DE VARIEDADES ORNAMENTAIS .....</b>  | <b>93</b>  |
| 6.1      | Técnicas de Classificação Estética .....  | 93         |
| 6.2      | Materiais Analisados .....  | 95         |
| 6.3      | Aquisição das Imagens .....   | 96         |
| 6.4      | Histograma de uma Imagem.....   | 96         |
| 6.5      | Diagrama Ternário .....   | 98         |
| 6.6      | Especificação Digital da Cor no Sistema “IHS”.....  | 103        |
| 6.7      | Cores Naturais .....  | 104        |
| 6.8      | Parâmetros IHS .....  | 105        |
| 6.9      | Extração dos Parâmetros I H S, no Spring 4.1 .....  | 107        |
| 6.10     | Curva Granulométrica e Estatística Elementar .....  | 113        |
| <b>7</b> | <b>APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PDI, PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DISCRIMINANTES DA FORMA DOS GRÃOS DE VARIEDADES ORNAMENTAIS .....</b> | <b>116</b> |
| 7.1      | Técnicas de PDI com Aplicação no Setor das Rochas Ornamentais .....   | 116        |
| 7.2      | Definições .....  | 117        |
| 7.2.1    | Imagem digital.....   | 118        |
| 7.2.2    | Imagem Binária .....  | 119        |
| 7.2.3    | Elementos Estruturantes .....   | 119        |
| 7.2.4    | Operações Matemáticas .....   | 120        |
| 7.2.5    | Operações Morfológicas .....  | 121        |
| 7.2.5.1  | Erosão .....  | 121        |
| 7.2.5.2  | Dilatação .....   | 122        |
| 7.2.6    | Segmentação de uma imagem digital .....   | 122        |
| 7.3      | O Coeficiente de Textura .....  | 123        |
| 7.3.1    | Medições e cálculos para os parâmetros geométricos .....  | 125        |
| 7.4      | Metodologia para a análise da forma do grão.....  | 127        |
| 7.5      | Resultados .....  | 132        |
| <b>8</b> | <b>TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E APLICAÇÕES NO SETOR DAS ROCHAS ORNAMENTAIS .....</b>  | <b>138</b> |
| 8.1      | Contexto da Utilização do Geoprocessamento na Geologia .....  | 138        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 8.2       | O Sistema de Informações Georreferenciadas – SIG .....                                  | 139        |
| 8.3       | Classes de Dados Geográficos .....  | 140        |
| 8.3.1     | Relacionamentos .....   | 143        |
| 8.4       | Imagens Digitais de Sensor Remoto .....   | 144        |
| 8.5       | Modelo de Dados Vetoriais .....   | 146        |
| 8.6       | O Sistema de Processamento de Imagens - Spring.....                                     | 147        |
| 8.7       | Materiais e Métodos Envolvidos .....  | 148        |
| 8.7.1     | Imagem LANDSAT 5 TM.....  | 148        |
| 8.7.2     | Dados Provenientes do Levantamento Aerogeofísico da CODEMIG .....                       | 149        |
| 8.7.3     | Base Cartográfica vetorial – Geominas .....   | 151        |
| 8.7.4     | SRTM (drenagens e MDE).....   | 151        |
| 8.7.5     | Georreferenciamento da Imagem .....   | 152        |
| 8.8       | Uso do Sensoriamento Remoto na Prospecção Geológica de Alvos com Valor Ornamental ..... | 152        |
| 8.8.1     | Laboratório – Processamento Digital de Imagens (PDI) .....                              | 153        |
| 8.8.1.1   | Composição de Bandas .....  | 154        |
| 8.8.1.2   | Segmentação de Imagens.....   | 156        |
| 8.8.1.3   | Técnicas de Classificação de Imagens.....   | 157        |
| 8.8.1.4   | Levantamento Aerogeofísico .....  | 161        |
| 8.8.1.4.1 | Gamaespectrometria .....  | 162        |
| 8.8.1.4.2 | Magnetometria .....   | 164        |
| 8.8.1.4.3 | Validação e Calibração do Sistema .....   | 167        |
| 8.8.1.4.4 | Complementação do Mapeamento Geológico .....  | 168        |
| 8.9       | Montagem de SIG para o CPCO .....   | 169        |
| 8.9.1     | - Organização da Base Cartográfica Vetorial .....                                       | 170        |
| 8.9.2     | Aquisição e Organização dos Dados Alfanuméricos.....                                    | 171        |
| 8.9.3     | Bancos de Dados Relacionais .....   | 173        |
| 8.9.4     | Consulta ao banco de dados.....   | 174        |
| 8.9.5     | Análise do Potencial de Exploração e de Escoamento da Produção para o CPCO .....        | 175        |
| <b>9</b>  | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>187</b> |
|           | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>197</b> |
|           | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>208</b> |

## APRESENTAÇÃO

Esta tese de doutorado é parte integrante do Curso de Pós-Graduação, na área de concentração da Geologia Econômica, oferecido pelo Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFMG. Contou com o apoio do LabtecRochas do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa – CPMTC, do LabGeo do Departamento de Cartografia, do Convênio entre a Universidade de Bologna na Itália a (UNIBO), do Programa ALFA – Projeto FARO (Formação Avançada em Rochas Ornamentais), da UFMG e do projeto Rochas Ornamentais de Minas Gerais: FAPEMIG CRA 247/97.

### 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

As técnicas de processamento digital de imagens (PDI) são hoje utilizadas nas mais diversas áreas das ciências e do cotidiano moderno, sendo suas aplicações cada vez mais amplas, beneficiando de forma direta e indireta vários setores da sociedade.

Entre os diversos exemplos de aplicações imagináveis, algumas merecem destaque: a ciência da computação, as indústrias aeroespacial e nuclear, a medicina, a microbiologia, o sensoriamento remoto, o setor das telecomunicações, o setor do entretenimento, entre muitos outros.

O Brasil experimenta hoje o desenvolvimento das técnicas de PDI, com aplicações no setor das rochas ornamentais. Esta é uma nova linha de pesquisa que apresenta resultados satisfatórios, sendo de clara aplicação para a complementação das caracterizações tecnológicas dos materiais pétreos.

Entre os trabalhos já desenvolvidos envolvendo o setor das rochas ornamentais e as técnicas de PDI, alguns merecem destaque: o desenvolvido pela Universidade de Bolonha (UNIBO), e o Programa ELCOSNET. Trata-se da aplicação da qualificação estética, para a classificação de chapas polidas com base técnicas (PDI), complementando assim suas caracterização tecnológicas, certificando garantia quanto à homogeneidade da granulação e da cor de certos materiais italianos. Devido às suas aplicações práticas, essas técnicas já favorecem os consumidores finais.

Outro trabalho de relevância, foi o desenvolvido por Maurício et al. (2000), o qual valida metodologia para análise superficial de material pétreo alterado, através de métodos

não-destrutivos, demonstrando a ampla aplicabilidade das técnicas de PDI para análise e caracterização macroscópica de imagens digitais monocromáticas (em tons de cinza), através da aplicação de procedimentos da morfologia matemática.

Motoki (2005a e b), apresentou metodologia e desenvolveu programa (Wibur 1.0) para a classificação de tipos pétreos com valor ornamental, através da especificação da cor dos materiais através do sistema de representação IHS.

Nos últimos anos houve um aumento do número de trabalhos envolvendo o tema caracterização tecnológica de materiais pétreos produzidos no estado de Minas Gerais, no Brasil e sobretudo em todo o mundo. Esse fato pode também ser comprovado, devido ao elevado número de materiais relacionados nos catálogos disponíveis na *web*. No entanto, a caracterização tecnológica convencional não vem contemplando os aspectos relacionados aos padrões estéticos tais como a homogeneidade da granulação da rocha e a sua cor. Este fato, entre outros, contribui para que exista uma forte concorrência em relação aos materiais acabados, sobretudo as cerâmicas, já que estas trazem consigo suas características estéticas asseguradas. No entanto, é importante ressaltar a qualidade da Rocha Ornamental e dos materiais pétreos quanto a uma de suas características naturais - a singularidade de cada peça - qualidade essa ainda longe de ser igualada pelos materiais artificiais.

No cenário externo, verifica-se uma forte tendência quanto à obrigatoriedade da caracterização tecnológica dos materiais, sejam eles pétreos ou industriais. Um exemplo claro dessa tendência é o fato da legislação da União Européia (UE) exigir que todos os materiais relacionados às licitações de novas obras da construção civil tragam consigo suas características tecnológicas, assim como sua proveniência e marca, entre outros. Essa é uma tendência não só da EU, mas de todo o globo, sendo fortalecida pela consolidação dos novos “mercados” e dos demais processos advindos da globalização.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral dessa tese de doutorado é o estudo de viabilidade da utilização de técnicas de PDI, para o desenvolvimento de novas tecnologias que possam favorecer o setor das rochas ornamentais nas diferentes escalas: micro, meso e macroscópica, sendo dessa forma desdobrado em três objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico relaciona-se à aplicação de técnicas de PDI, disponíveis nos programas de “Livre Distribuição”, para discriminar e quantificar a forma dos grãos oriundos do imageamento e mosaicos das fotomicrografias de seções delgadas de tipos pétreos com valor ornamental. Os resultados obtidos são posteriormente correlacionados às características tecnológicas (propriedades físico-mecânicas), as quais foram obtidas através da realização de ensaios laboratoriais, em conformidade com as normas técnicas disponíveis.

O segundo objetivo específico é a proposição de uma revisão metodológica, com base na utilização de parâmetros estéticos previamente definidos, para a classificação de chapas polidas de diferentes tipos pétreos com comprovado valor ornamental e aplicação no mercado de Minas Gerais.

O terceiro objetivo está relacionado à fase da pesquisa mineral propriamente dita. Pretende-se comprovar a viabilidade do uso do georecurso (os dados de sensor remoto – Imagem de satélite e Levantamento Aerogeofísico) para o desenvolvimento de técnicas que permitam a definição de novas áreas com possível valor ornamental, na região do Centro Produtor de Rochas Ornamentais de Candeias-Oliveira (CPCO), promovendo assim um melhor desenvolvimento dessa importante região do Estado de Minas Gerais. De forma paralela, foi desenvolvido Sistema de Informações Georreferenciadas – SIG, para o CPCO, relacionando a localização das jazidas às suas características tecnológicas. Este Sistema é também utilizado para definir regiões de maior geopotencialidade ornamental, em função dos parâmetros ambientais e dos parâmetros relacionados aos sistemas viário, ferroviário e de embarques ferroviários, já instalados na área deste Centro Produtor.

### 3 O ESTADO DA ARTE

#### 3.1 Introdução

As rochas ornamentais, que na linguagem comum correspondem aos mármore e aos granitos, entre outros materiais, são comercializadas sob forte influência do aspecto visual e estético. Suas aplicações englobam sobretudo os campos da construção civil, sendo muito utilizadas nos revestimento de interiores e exteriores. O mercado brasileiro oferece muitos produtos com a mesma denominação comercial, porém com características físico-mecânicas e estéticas diversas. Muitas vezes, grandes lotes de materiais acabados (chapas polidas), comercializados no mercado interno com um determinado nome, apresentam-se pouco homogêneos quanto aos aspectos estéticos (cor, tamanho e distribuição dos grãos). Esses materiais, se aplicados, sem a prévia execução de procedimentos de classificação estética, podem contribuir de forma negativa, prejudicando consumidores e provocando a desvalorização de empreendimentos.

Apesar do mercado mineiro das rochas ornamentais e de revestimento ter sofrido uma série de problemas nos últimos anos, quando comparado aos demais estados produtores (Espírito Santo, Bahia, Ceará, São Paulo, entre outros), existe hoje uma melhor expectativa para o desenvolvimento do setor, acompanhada por uma crescente demanda pela caracterização tecnológica dos materiais produzidos.

Minas Gerais assim como a maioria dos demais estados, exporta seus materiais essencialmente na forma de blocos, sem agregação de valor. Este procedimento é, em parte, reflexo da falta de conhecimento dos empresários acerca das características dos nossos materiais.

#### 3.2 Histórico

A relação homem-rocha remonta aos tempos pré-históricos, de acordo com Schick & Toth (1993), os registros mais antigos indicam, datações para o uso dos artefatos

líticos por homínídeos africanos, com aproximadamente 1,5 a 2,5 milhões de anos, durante o Período Paleolítico, na região do Transvaal (África do Sul).

Posteriormente em todo o mundo, os minerais e rochas foram empregados para a confecção de artefatos usados para caçar, desossar, perfurar, cortar, cavar, arrancar plantas e até mesmo para o uso como esculturas e adornos pessoais (FIG. 1). A maior parte destas ferramentas era trabalhada em materiais tais como quartzo, quartzito, seixos rolados de diferentes composições como sílex e basaltos entre outros tipos pétreos. Com o aperfeiçoamento das técnicas de utilização dos materiais líticos, surgiu também a preocupação com a localização e a prospecção das áreas fonte.

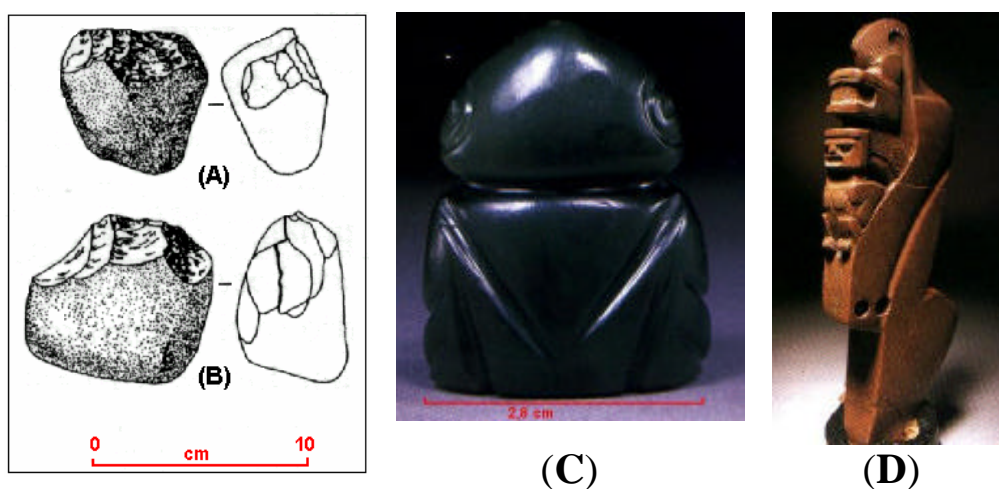


FIGURA 1 - Registro de artefatos líticos

Legenda: A e B – Reconstituições de Choppers Tools, provenientes da região do Transvaal na África do Sul. Fonte: Schick & Toth (1993) modificado; C – Muiraquitã: amuleto de amazonita. Fonte: Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo; D- Escultura Lítica da Região de Nhamunda-Trombetas PA.

Fonte: modificado de Neves et al. (2001).

A estagnação do desenvolvimento humano perdurou até aproximadamente 8000 a. C. quando o aprimoramento das práticas agrícolas proporcionou o estabelecimento de comunidades humanas maiores e suficientemente permanentes para desenvolver uma arquitetura de tijolos de pedra e adobe. Neste mesmo período, surgiram os primeiros registros de utilização das rochas como objeto de ornamento nas aldeias neolíticas.

A utilização das rochas ornamentais como elemento estético e ornamental ocorreu por volta de 3000 a. C., na região da Mesopotâmia e no Egito, onde os faraós utilizavam-nas para esculpir grandes estátuas de personalidades da época, assim como representado na FIG. 2 (A e B).

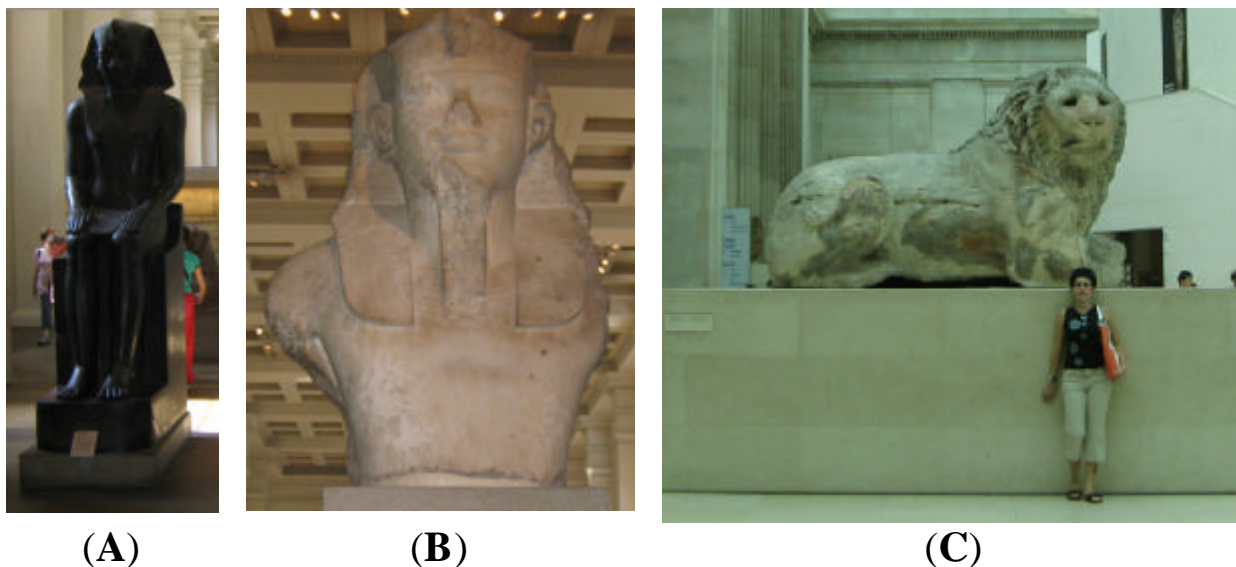


FIGURA 2 - Exemplos de aplicações de Rochas Ornamentais em monumentos da antiguidade

Legenda: A – Escultura egípcia em microgabro; B – Busto do Faraó Amenhotep IV (mármore); C – Leão do antigo Farol de Constantinopla (mármore).

Fonte: Museu Britânico.

Mármore e calcários de granulação fina foram utilizados nestas esculturas e, eventualmente, rochas mais “duras” como granitos, gabros e quartzitos.

As mais antigas cavas de mármore conhecidas encontram-se na Grécia e provavelmente correspondem ao período entre Neolítico Inferior (4500 a. C.) e Médio, na região de Creta. Outros exemplos de cavas com valor histórico, é a do Mármore Carrara na Itália e do Granito Bianco Montofano, assim como exemplificado na Figura 3.



FIGURA 3 - Exemplos de jazidas de rochas ornamentais em atividade e com valor histórico

Legenda: A – Mina do Mármore Carrara na Itália; B - Mina de Cavadonna, do Granito Bianco Montofano em operação desde 1914, Região da Verbânia na Itália.



A utilização das rochas ornamentais na antiguidade foi bastante restrita, todavia a humanidade as utilizava nas produções artísticas e arquitetônicas durante o período clássico da cultura grega e nos impérios romano, inca e maia, onde seu uso era considerado símbolo de status. A grande prova disto está registrada nos livros de história romana, onde o grande imperador César Augusto gabava-se de ter encontrado Roma – uma cidade de tijolos – e de tê-la deixado de mármore.

Ferrari (2001) salienta que o uso da pedra, além de ter marcado a história da arquitetura e das construções em geral, contribuiu ainda para o desenvolvimento econômico e social dos povos.

Segundo Alencar *et al* (1996), a extração de rochas ornamentais neste período era controlada pelos faraós do Egito, imperadores em Roma e pelas cidades-estado na Grécia. Cada um destes proprietários possuía seu técnico especializado na extração e no beneficiamento da rocha e estes serviços eram realizados pelos escravos, com uso de técnicas e ferramentas rudimentares.

Por volta do período medieval, surgiu a regulamentação do uso do solo, que proporcionou a descentralização do direito de lavra, que até então era restrito aos imperadores e faraós. Deste modo, novos materiais passaram a ser lavrados e o emprego de rochas ornamentais se difundiu por catedrais e palácios das mais importantes cidades da época. Desde então, a diversidade de rochas passou a ser grande e seu emprego controlado basicamente pelo estilo artístico e arquitetônico vigentes em cada período da história.

No Brasil, os primeiros registros relacionados às rochas ornamentais, remontam ao Brasil-Colônia, quando navios portugueses traziam em seus porões, como lastro, blocos de mármore e outros tipos pétreos provenientes do continente europeu. Estes materiais eram mais tarde, reutilizados, principalmente nas aplicações de cantelaria, revestimentos externos e pavimentações.

No período do Brasil Império, algumas jazidas de rochas ornamentais, foram retratadas entre os anos 10 e 30 do século XIX, (Figuras 4 e 5). Estas iconografias, revelam detalhes, como o uso de explosivos e outras técnicas de exploração, de antigas jazidas brasileiras de rochas ornamentais, documentadas pelo ilustrador alemão Johann Moritz Rugendas, que viajou por vários países íbero-americanos, documentando paisagens e costumes, assim como Debret, que fazia parte da Missão Artística Francesa, que chegou no Brasil em 1816. Em 1824, Rugendas foi contratado como ilustrador para acompanhar a expedição do Barão alemão Georg Heinrich von Langsdorff, que percorreria as Províncias de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso.

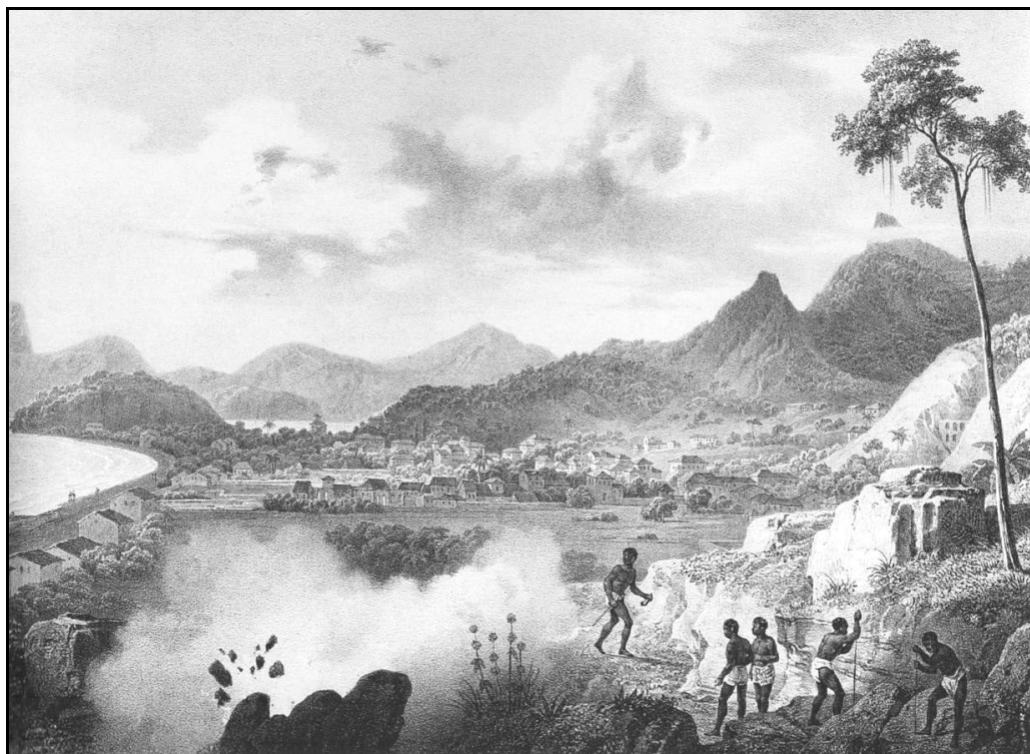


FIGURA 4 - Ilustração de Rugendas retratando a extração de rochas nos arredores do Rio de Janeiro no início do século XIX

Fonte: Rugendas (2002).



FIGURA 5 - Detalhe de uma ilustração de Debret, de 1826, intitulada pedreira, representando técnicas de extração nos arredores do Rio de Janeiro.

Fonte: Debret, (2003).

No Brasil e no mundo, a utilização das rochas ornamentais na construção civil em geral perdeu força a partir de meados do século XX, quando surgiram novos materiais para substituí-las, dando início à era do concreto aparente e do vidro para revestimento e principalmente do asfalto para as pavimentações das rodovias. Recentemente, a cerâmica de alta qualidade com preços acessíveis aos diversos segmentos da população, vem se revelando como um concorrente de peso para os materiais pétreos acabados.

### 3.3 Os Jazimentos Brasileiros e suas Contextualizações Geológicas

A diversidade geológica do embasamento cristalino brasileiro reflete numa importante vantagem competitiva em termos de Rochas Ornamentais, uma vez que os “granitos” são os tipos mais valorizados e mais tradicionalmente comercializados (em termos de volume) no mercado internacional. O conhecimento das jazidas é resultado de décadas de investimentos no mapeamento geológico regional e de semi-detalle, desenvolvidos principalmente por entidades governamentais, tanto estaduais como federais (Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais – CPRM).

O conhecimento geológico do território brasileiro contribuiu para a abertura de novas jazidas, com destaque para os tipos classificados comercialmente como “granitos”, como representado na Figura 6.



FIGURA 6 - Localização das principais jazidas de granitos, mármore, ardósias e quartzitos no território brasileiro

Fonte: adaptada do Anuário Mineral Brasileiro (Brasil, 2004).

Mendes (2003), sugere que o processo de cratonização do embasamento cristalino e a conseqüente formação dos jazimentos de rochas com possível valor ornamental, ocorreram de forma cíclica, em pelo menos quatro eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano, ao Paleoproterozóico, ao Mesoproterozóico e ao Neoproterozóico. Esses eventos propiciaram a consolidação do continente, caracterizados por núcleos arqueanos de grande extensão envoltos pelas faixas dobradas proterozóicas

A diversidade dos ambientes geotectônicos que constituem o território brasileiro, tem sua evolução geológica marcada por considerável mobilidade tectônica com alternâncias de eventos em regimes compressivos e distensivos. Tais eventos condicionaram a existência e a distribuição das rochas, inclusive aquelas com valor ornamental.

A divisão do Brasil em oito “Províncias” Geológicas, foi apresentada pelo autor acima citado, com base em critérios litotectônicos. As regiões, todas com potencial (embora bastante diferenciado), para conter jazimentos com valor ornamental, apresentadas na Figura 07 encontram-se relacionadas a seguir:

- **Província Mantiqueira:** Envolve os Estados do Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina, responsável por 58% da produção nacional.
- **Província São Francisco:** (Bahia e Minas Gerais), sendo responsável por aproximadamente 30% da produção.
- **Província Borborema:** (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e porção norte da Bahia), correspondendo a 10% da produção.
- **Província Tocantins:** (Goiás e Mato Grosso do Sul) sendo responsável por menos de 2% da produção.
- **Província Amazonas Norte:** (Amazonas, Acre, Amapá, Porção Norte do Pará), responsável por menos de 2% da produção.
- **Província Amazonas Sul:** (Rondônia, Mato Grosso, Tocantins ocidental e parte de Goiás) responsável por menos de 2% da produção.
- **Província Paraná:** (Parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina Paraná e Triângulo Mineiro) apesar da produção menos expressiva a geologia pressupõe a existência de sítos favoráveis.
- **Província Parnaíba e demais províncias:** não apresentam produção de rochas ornamentais, no entanto a geologia pressupõe a existência de sítos favoráveis.

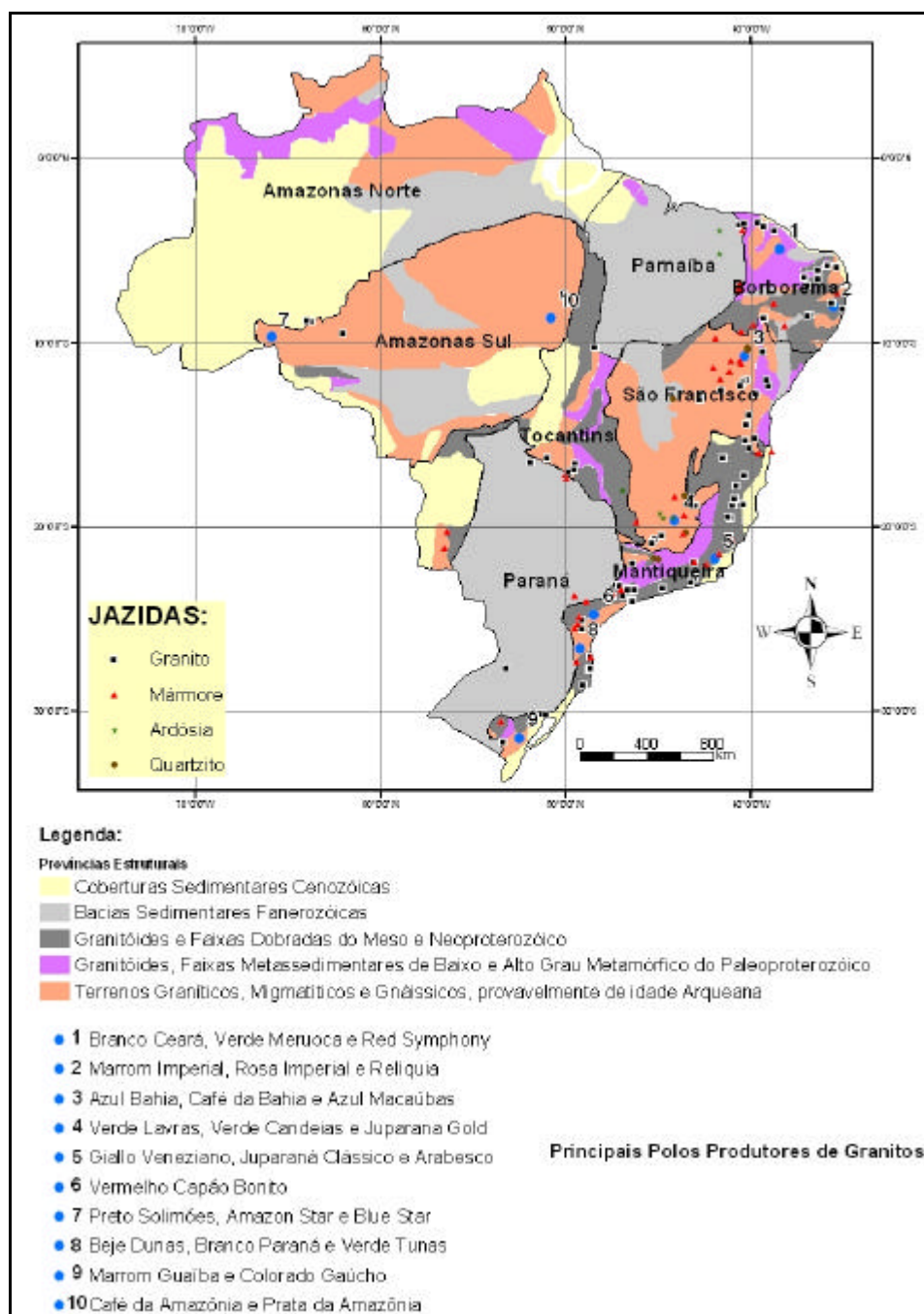


FIGURA 7 - Esboço Geológico e Tectônico, Províncias Estruturais e Principais Jazimentos de Rochas Ornamentais no Brasil

Fonte: Modificado de Mendes (2003).

Inseridos neste cenário nacional, alguns estados merecem destaque, devido à tradição e ao volume da produção atual de Rochas Ornamentais. São eles: o Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Ceará.

O Espírito Santo é hoje responsável pela disponibilidade de mais de cem tipos de variedades com valor ornamental. O Setor das rochas ornamentais, apresenta neste estado uma forte expansão nos últimos anos, seja pelas facilidades de beneficiamento e de escoamento de sua produção, seja pela diversidade litológica de materiais que ele “importa”. O Espírito Santo destaca-se pela produção de mármore e “granitos” multicoloridos e com texturas variadas, fatores que refletem em uma forte aceitação mercadológica.

O Estado de Minas Gerais apresenta comprovado potencial geológico, além de situação geográfica privilegiada em relação às principais vias de escoamento e portos marítimos para a exportação. No cenário nacional, Minas Gerais é um dos mais importantes centros produtores de rochas ornamentais, sendo considerável o número de trabalhos referentes ao setor e envolvendo inúmeras áreas de extração. (Oliveira & Costa, 1998a; Bezerra *et al*, 1998; Costa *et al*, 1998; Costa, 1999, Campello, 2000, Pimenta, 2002) entre outros. De acordo com o relatório do Projeto Rochas de Minas: Estudo de Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de Minas Gerais elaborado pelo SINROCHAS-MG, em setembro de 2003 (Inserção, 2003), estima-se a existência de 160 frentes ativas de lavra, com uma produção de 1,8 milhões de toneladas/ano. Essa produção distribui-se por mais de 50 municípios, incluindo a extração de granitos (440 mil toneladas/ano), ardósias (410 mil toneladas/ano) e quartzitos foliados (250 mil toneladas/ano), além de serpentinitos, pedra-sabão, pedra-talco, pedra Lagoa Santa e pedra Preta Mariana, configurando quase 150 variedades comerciais colocadas nos mercados interno e externo. Levantamentos efetuados pela Cia. Mineradora de Minas Gerais – CODEMIG – demonstram que o Estado de Minas Gerais é o segundo maior pólo minerador brasileiro de rochas em quantidade, o primeiro em diversidade de materiais extraídos e segundo em volume físico e valor de exportações no setor. O estado de Minas Gerais destaca-se, sobretudo, pela produção de granitos “movimentados”, além de tipos homogêneos, quartzitos, arenitos e mármore, sendo ainda o maior produtor de ardósia do país. Mais de 1600 empresas atuam nos segmentos de lavra, beneficiamento e marmoraria em Minas Gerais, representando investimentos privados da ordem de US\$ 300 milhões. As transações comerciais do setor em Minas Gerais devem movimentar aproximadamente US\$ 220 milhões/ano. Estima-se que estas empresas estejam gerando 21 mil empregos diretos, 6 mil dos quais no segmento de lavra e 15 mil nos de beneficiamento e marmoraria. Com base nos investimentos aplicados no setor, calcula-se que seria de apenas US\$ 15 mil o custo para a geração de um emprego direto.

De acordo com Azevedo (2001), o Setor das rochas ornamentais no Estado da Bahia está vivenciando importante estágio de crescimento, sendo responsável por cerca de 7%

da produção mineral baiana comercializada. A Bahia possui rede rodoviária conectando as principais regiões produtoras, terminais ferroviários, além de três importantes portos e capacidade instalada da ordem de 9.000 megawatts. Devido também à sua tradição, a Bahia é atualmente um dos grande produtores de Rochas Ornamentais do país. Dispõe de grande variedades de padrões e tonalidades de tipos péticos, assim como conhecimento geológico suficiente para identificar faixas litológicas propícias para a exploração de Rochas Ornamentais. O estado é também mundialmente conhecido por produzir quartzitos e granitos de colorações variadas, destacando os tipos comercialmente denominados de Azul Macaúbas e o Azul Bahia.

Em conformidade com Vidal e Ribeiro (2001), a partir de 1988 o Setor das rochas ornamentais no Estado do Ceará, teve investimentos da ordem de 108 milhões de US\$, principalmente em investimentos de ponta para o segmento do beneficiamento. Em 1993, foi criado o “Pólo Graniteiro”, cuja meta era a instalação de equipamentos de beneficiamento, favorecendo a obtenção dos materiais acabados, mais competitivos e com maior valor agregado. O Estado do Ceará produz sobretudo granitos e secundariamente mármore, calcário travertino e calcário laminado. O total de suas reservas medidas alcança aproximadamente 82.000.000 de metros cúbicos.

A seguir são apresentadas sínteses das contextualizações geológicas, seguidas dos mapas de localização das principais jazidas de Rochas Ornamentais em operação (com base no Anuário Mineral Brasileiro (Brasil 2005) do Departamento Nacional de Produção Mineral o DNPM), referentes aos estados do Espírito Santo, Bahia e Ceará. Quanto a de Minas Gerais, o Capítulo V desta Tese, trará também a contextualização geológica assim como informações sobre a localização das jazidas.

### 3.3.1 O Estado do Espírito Santo - contextualização geológica e localização das jazidas

De acordo com Caranassios (2001), os granitos ocorrem praticamente em todos os municípios do Espírito Santo, enquanto os mármore estão localizados no sul, exclusivamente nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Castelo. Aproximadamente 90% dos pedidos de autorização de pesquisa junto ao DNPM, para o Espírito Santo visam à descoberta de jazidas de granito industrial.



Do ponto de vista comercial, além do granito propriamente dito, no Espírito Santo são também incluídas nessa categoria outros tipo de rochas ornamentais afins, como gnaisses, charnockitos, granodioritos, gabros, dioritos, migmatitos, entre outros. Considerando todo esse universo, o panorama global das reservas é da ordem de 630 milhões de m<sup>3</sup>, distribuídos municipalmente conforme apresentado na TAB. 1.

No caso dos mármore, as reservas medidas em números estimados somam um total de 260 milhões de m<sup>3</sup>. Desse total, mais de 90% estão concentrados no município de Cachoeiro de Itapemirim, sendo que o restante fica distribuído nos município de Castelo.

**TABELA 1**

Distribuição municipal das reservas de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo

| <b>MUNICÍPIO</b>        | <b>VOLUME (X 1000 m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Afonso Cláudio          | 387                                  |
| Alegre                  | 1569                                 |
| Aracruz                 | 569                                  |
| Átlio Vivacqua          | 157                                  |
| Baixo Guandu            | 117428                               |
| Barra de São Francisco  | 8000                                 |
| Boa Esperança           | 1034                                 |
| Cachoeiro de Itapemirim | 146169                               |
| Castelo                 | 117900                               |
| Colatina                | 660                                  |
| Conceição do Castelo    | 6122                                 |
| Ecoporanga              | 1302                                 |
| Guarapari               | 160                                  |
| Ibiraçu                 | 75                                   |
| Iunas                   | 77713                                |
| Mimoso do Sul           | 108                                  |
| Muqui                   | 1873                                 |
| Nova Venécia            | 46                                   |
| Pancas                  | 35                                   |
| Santa Teresa            | 187                                  |
| São Gabriel da Palha    | 42                                   |
| São José do Calçado     | 89                                   |
| Viana                   | 89                                   |
| <b>TOTAL</b>            | <b>628 000</b>                       |

Fonte: Caranassios, 2001.

### 3.3.2 O Estado do Ceará - contextualização geológica e localização das jazidas

Conforme Vidal e Ribeiro (2001), no Ceará o embasamento cristalino ocupa cerca de 75% do território. Formado por rochas datadas do Pré-Cambriano, o mesmo apresenta condicionamento favorável à ocorrência de granitos. Mármore, quartzitos e calcários ocorrem de forma subordinada, podendo apresentar características ornamentais.

No estado destacam-se o Complexo Tamboril Santa Quitéria, que ocorre na região metropolitana de Fortaleza, abrangendo parte dos municípios de Fortaleza, Maranguape, Pacatuba, Guaiuba. Na região norte, abrangendo os municípios de Uruburutema, Itapipoca e Irauçuba, sendo na região centro-oeste, ocupando parte dos municípios de Santa Quitéria, Varjota, Cariré, Hidrolândia, Monsenhor Tabosa e Tamboril. É constituído de migmatitos diversos, onde destacam-se os granitos de nome comercial Vermelho Fuji, Juparaná Real, Brown Paradise e Cinza Nova Russas.

O complexo Granja ocorre no extremo noroeste do Estado, ocupando boa parte do município de Granja, constituído por migmatitos granitóides e granulitos. Nesse contexto, destaca-se o granito Knawa Rosa.

Com base no mesmo autor, destacam-se ainda os dioritos de Tauá, rochas parcialmente transformadas em granodioritos porfiróides e em parte, como paleossomas de migmatitos agmátitos com neossoma de granito grosso, que ocorrem na região de Tauá no sudoeste do Ceará. Os granitóides Mocambo, Meruoca, Serra da Barriga e Taparuaba, que ocorrem na região noroeste do Estado, destacam-se o granito Vermelho Filomena no município de Alcântara, os granitos Vermelho Meruoca, Verde Meruoca, Amarelo Massapé, Meruoca Clássico, Verde Ventura e Verde Ceará no município de Massapé. Os granitos Amêndoa Barroco no município de Meruoca, Rosa Iracema no município de Forquilha e Cinza Prata em Cariré.

Dentre outras rochas com valor ornamental, destaca-se o milonito Tucunduba que ocorre também na região noroeste do Estado, mais precisamente no município de Marco, onde se encontram os granitos Verde Pantanal e Preto Pantanal. Os granitóides Pereiro, São Domingos, Manoel Dias, dentre outros, ocorrem nas regiões de Irauçuba (Serra de São Domingos e Serrote Manoel Dias), Ibaretama (Serra do Azul), Tamboril (Serras do Encanto e das Matas), São Domingos e Serrote Manoel Dias, Ibaretama (Serra do Azul), Tamboril (Serras

do Encanto e das Matas), Pereiro (Serras do Maia, Vermelha, do Cajá e do Aimoré). Na região de Irauçuba destacam-se os granitos Rosa Missi, Amêndoas Missi, Amarelo Santa Angélica, Clássico Dunas, Icarai e/ou Coral. Os granitóides Quixadá-Quixeramobim ocorrem na região central do estado, abrangendo os municípios de Quixadá, Banauiu, Quixeramobim e Senador Pompeu, e englobam granodioritos, monzonitos, granitos e dioritos, em parte gnaissificados e coexistindo em tramas migmatíticas ou intimamente associados. Nessa região existe apenas uma pedreira de granito ornamental, granito Branco Astro.

Na região norte do estado nos municípios de Santa Quitéria e Boa Viagem ocorrem granitos leucocráticos. Os granitos do município de Santa Quitéria apresentam coloração bem esbranquiçada, classificados petrograficamente como albita-granito, comercialmente conhecidos por granito Branco Ceará ou Branco Cristal e Branco Cotton, e ocorrem sob a forma de “stock”, comercialmente conhecido como Branco Nevasca.

O complexo Itatira ocorre na região de Itatira, Madalena e Canindé. É constituído por uma seqüência essencialmente metassedimentar composta de migmatitos ricos em granadas, gnaisses anfibolíticos, leptinitos, quartzitos, biotita-gnaisses a biotita-silimanita-gnaisses com porfiroblastos de granada; e, no topo, metacalcário cristalino puro, de textura sacaróide, com variações para tipos mais impuros, ricos em piroxênio, anfibólio e flogopita.

A formação Jandaira ocorre na Chapada do Apodi, no extremo norte do Estado e a formação Santana ocorre na bacia sedimentar do Araripe na região sul do Ceará. Essas bacias sedimentares de idade Cretácea ocorrem em Apodi e no Araripe e constituem uma importante fonte para produção de Travertino (creme, bege) e Pedra Cariri (calcários laminados), respectivamente, extraídos como Rocha Ornamental.

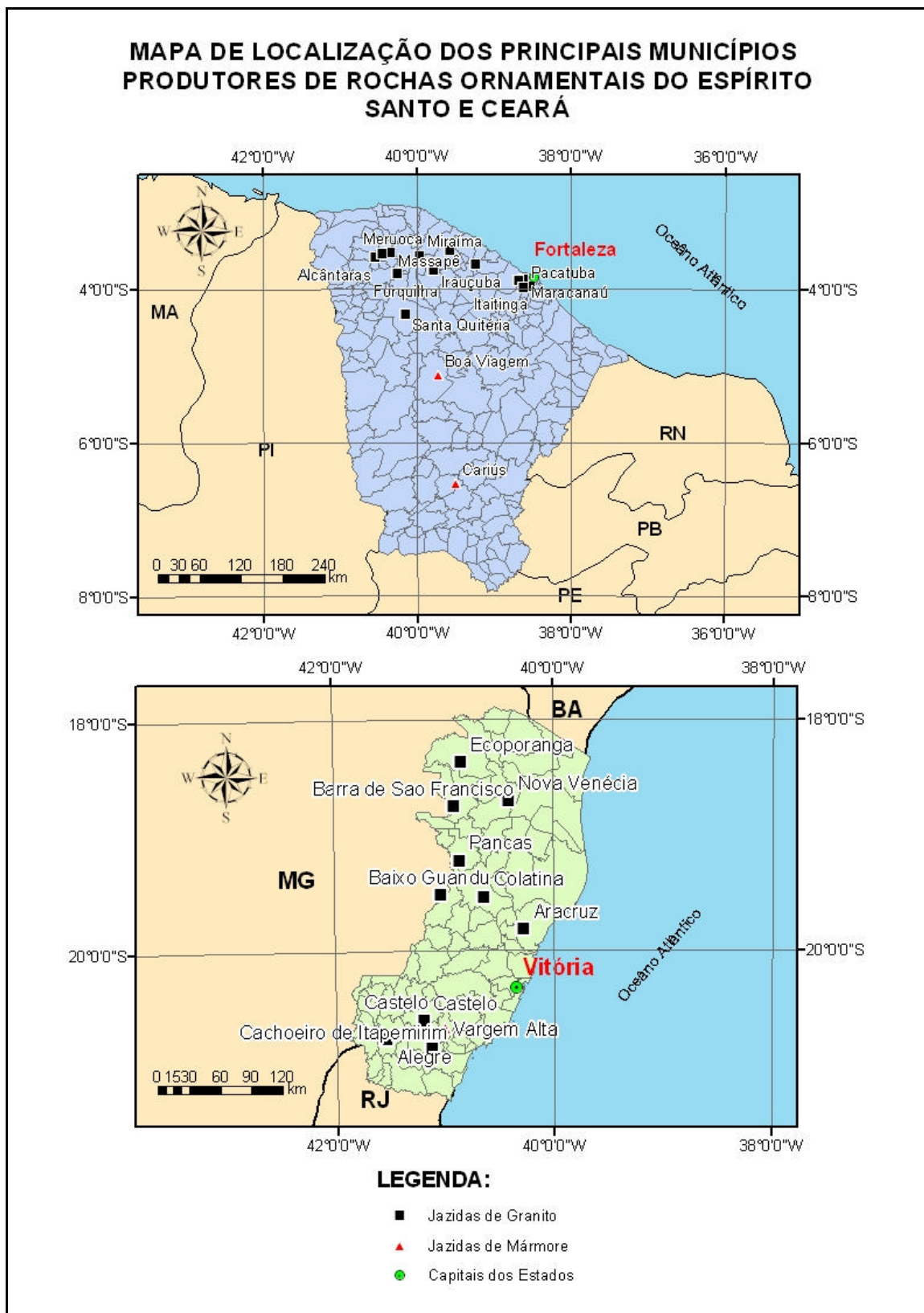


FIGURA 8 - Localização dos principais municípios produtores de Rochas Ornamentais nos Estados do Ceará e do Espírito Santo.

### 3.3.3 O Estado da Bahia - contextualização geológica & localização das jazidas

O Estado da Bahia, devido a décadas de investimentos governamentais, dispõe hoje, para grande parte de sua superfície, de mapeamentos geológicos de semidetalle os quais favorecem também o desenvolvimento do Setor das rochas ornamentais.

De acordo com Azevedo (2001) no Estado da Bahia, ocorrem exemplos representativos de granulitos, utilizados como rocha ornamental. São as variedades denominadas comercialmente de “granitos” Verde Boa Nova e Verde Dorato, produzidos na região de Jequié e Iaçú, respectivamente.

Os litotipos envolvem, gnaisses, e granitos, ortoderivados e paraderivados, com estruturas migmatíticas ou ainda preservando resquícios da rocha original, sedimentar ou vulcânica. Esses gnaisses e migmatitos margeiam a borda ocidental do cinturão granulítico, desde Curaçá ao norte, passando pela região de Feira de Santana, até Vitória da Conquista, ao sul.

Os gnaisses apresentam coloração avermelhada e uma foliação marcada pela orientação preferencial de cristas de biotita ou hornblenda. Um exemplo típico de rocha ornamental dessa unidade é a de nome comercial “granito” Vermelho Tanquinho, cuja jazida está situada próximo à Feira de Santana.

Ainda com base em Azevedo (2001), os migmatitos apresentam estruturas complexamente dobradas, decorrentes de um estágio avançado de mobilidade de suas massas, parcialmente fundidas, conferindo às rochas uma feição designada comercialmente como “movimentada”. Dentre os migmatitos atualmente comercializados, destacam-se, entre outros, os “granitos” Fantasia, produzido na região de Monte Santo, e Lambada, na região de Rui Barbosa.

Corpos de composição granítica e monzodiorítica, resultantes de processos de granitização, ocorrem no domínio das seqüências vulcanossedimentares de baixo grau de metamorfismo, apresentam potencial para aproveitamento como Rocha Ornamental. Um exemplo de “granito” ornamental, produzido nesses corpos - o Amarelo Tombas e o Marrom Colonial, da região de Iaçú.

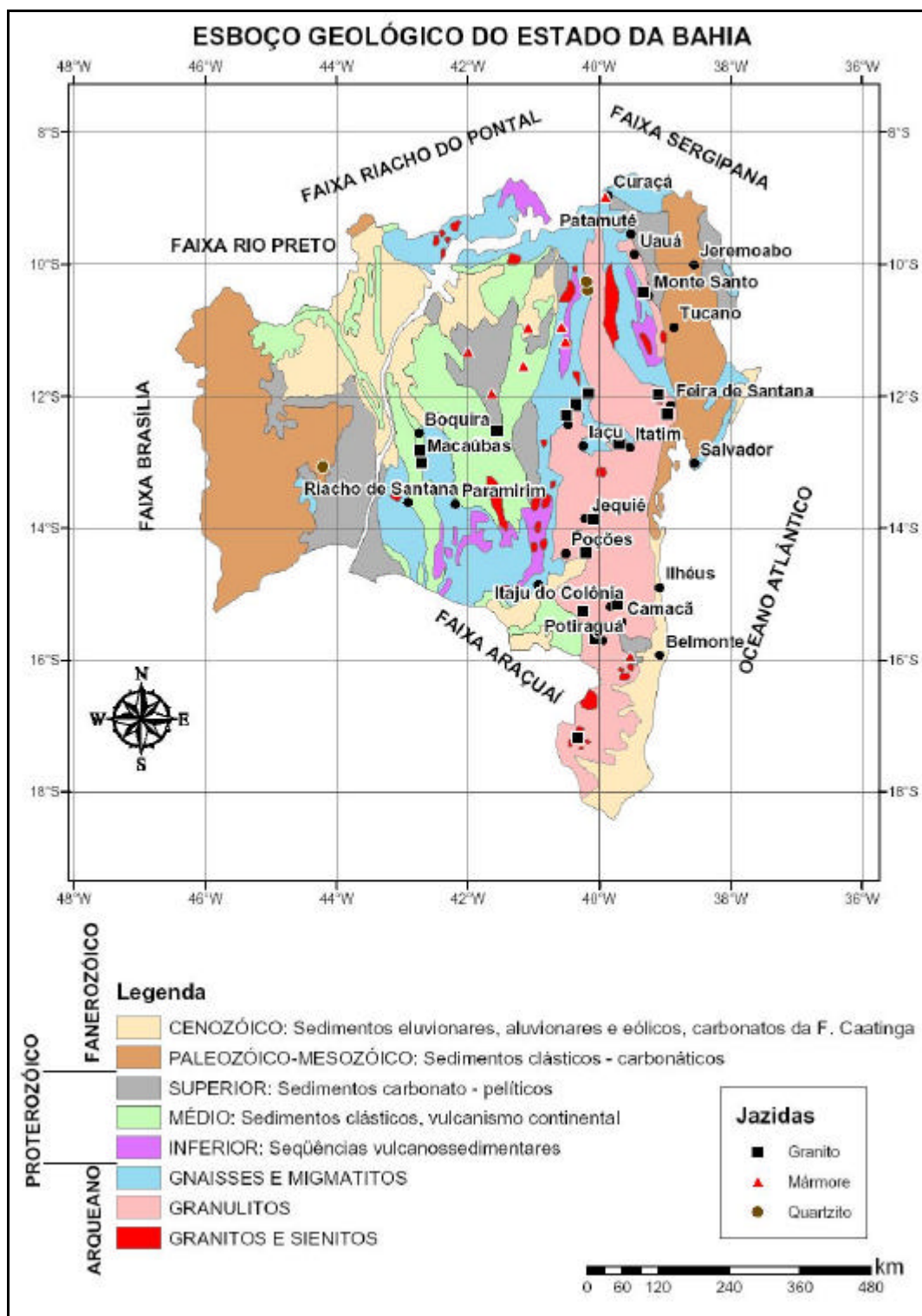


FIGURA 9: Localização dos principais municípios produtores de Rochas Ornamentais na Bahia.

## 4 METODOLOGIA

Esta é uma abordagem do roteiro metodológico geral, sendo os procedimentos específicos de cada objetivo, detalhados em cada um dos capítulos subsequentes.

De modo a atingir os objetivos desta tese, em um primeiro momento, foi realizada pesquisa a respeito dos dados disponíveis a cerca das rochas ornamentais produzidas e comercializadas em Minas Gerais e suas respectivas características tecnológicas. Devido ao fato dos materiais pétreos graníticos serem a “variedade” mais explorada em Minas Gerais, no Brasil e também na Itália, essas rochas perfazem mais de 90% dos materiais selecionados para as investigações, caracterizações e correlações desenvolvidas e apresentadas neste trabalho.

Posteriormente, foram realizadas etapas de campo, com o objetivo de se obter informações sobre a localização e a geologia das jazidas, de Rochas Ornamentais localizadas no CPCO.

No Labtec-Rochas do CPMTC foram realizados ensaios tecnológicos com o intuito de aprimorar o universo dos dados disponíveis sobre os materiais selecionados. Em etapa de campo posterior, foi procedida a checagem das técnicas empregadas para a definição de alvos com possível valor ornamental.

### 4.1 Levantamento Bibliográfico

A etapa do levantamento bibliográfico, foi realizada levando em conta três correntes de pesquisa distintas:

(i) – A pesquisa envolvendo as técnicas de PDI foi enfocada nas publicações envolvendo aplicações no Setor das rochas ornamentais, a destacar os trabalhos: Bruno (1997), Chica-Olmo et al. (1998), Laurange (2001), Bondua (2002), Antonazzo (2002) entre outros;

(ii) – A da área do Geoprocessamento, merecendo destaque: Moura (2003; 2004), Dutra e Meneses (1987), Harris et al (1990), França(2003) entre outros;

(iii) – A pesquisa sobre o acervo dos materiais pétreos e suas respectivas caracterizações tecnológicas, com destaque para as dissertações de mestrado de Oliveira (1998), Campello (2000) e Pimenta (2002).

## 4.2 Levantamento das Bases Operacionais

Como uma das premissas dessa tese é o uso de programas gratuitos e disponíveis na *web*, faz-se necessário definir certos termos utilizados para o melhor entendimento deste item metodológico.

**Programas do tipo Software Livre (SL):** O termo SL, refere-se aos programas que são fornecidos com a liberdade de executá-los, estudá-los, modificá-los e redistribuí-los (com ou sem alterações). No entanto vale salientar que o termo *free* ao ser traduzido para o português trouxe a dualidade de significados da palavra na língua inglesa: livre e gratuito, dando origem a um entendimento distorcido do seu verdadeiro sentido. Na concepção de seu criador e seguidores, o *software* livre “é em relação à liberdade e não ao preço”. A criação da *Free Software Foundation*, em 1984, trouxe parâmetros que definem o *software* livre e as quatro liberdades que os caracterizam: liberdade de uso (pessoal, acadêmico ou comercial), de distribuição (que permite fazer cópias e distribuí-las) de estudo ou modificação (permite adequar o software às necessidades específicas) e a liberdade de distribuir essas modificações.

**Programas do tipo Open Source:** São conhecidos como programas de código aberto, resultado de uma iniciativa da *Open Source Initiative* (1998), que reflete uma maior preocupação com a qualidade na produção do software e com a sua segurança na medida que mais pessoas podem verificar o código. O enquadramento nessa categoria pressupõe e definição de outros critérios entre eles: redistribuição livre, código fonte, trabalhos derivados, integridade do autor do código-fonte, sem discriminações quanto a pessoas ou grupos, sem discriminações quanto a ramos de empreendimento, e a distribuição da licença, dentre outros.

**Programas do tipo de Livre Distribuição:** São programas de que podem ser obtidos de maneira gratuita, no entanto não permitem o acesso ao código fonte, dessa forma, não podem ser modificados.

A etapa de busca pelos *softwares*, foi marcada pela pesquisa junto a *web* e às demais formas tradicionais de pesquisa: bibliotecas, centros de referências e contatos com pesquisadores e professores da UFMG e de outras instituições. Essa etapa resultou também na promoção do 1º Curso de Introdução ao Quantikov para o curso de Especialização em Geoprocessamento do Departamento de Cartografia do IGC.

Posteriormente se deu a escolha dos programas utilizados nesta tese, a destacar: O Quantikov, o Spring 4.11 e o *Stone Analyser*1.0. sendo todos estes últimos, classificados como do tipo de Livre Distribuição.



### 4.3 Escolha dos Materiais Envolvidos

Os materiais envolvidos podem ser divididos em duas categorias conforme a sua natureza/origem: dados de sensores remotos e os materiais pétreos.

#### 4.3.1 Dados de Sensor Remoto

A metodologia adotada, para a aquisição e integração dos dados de sensores remotos, será objeto de descrição pormenorizada no Capítulo VIII. A mesma pode ser subdividida em linhas gerais nos seguintes sub-itens:

**A)** - Aquisição dos dados de Sensor remoto;

(Imagem de satélite TM, Levantamento aerogeofísico – CODEMIG/LASA (Gamaespectometria e Magnetometria));

**B)** - Georreferenciamento da imagem;

**C)** - Interpolação e reamostragem;

**D)**- Fusão dos Dados - (através de técnicas de *PDI*: foi aplicada com o intuito de gerar produtos que facilitassem a etapa de interpretação visual, visando a identificação de alvos com possível valor ornamental).

#### 4.3.2 Materiais Pétreos

escolha dos materiais pétreos envolvidos levou em conta a disponibilidades dos tipos no mercado mineiro e o volume de informações publicadas a cerca de suas características tecnológicas, seja nos catálogos das empresas, em dissertações de mestrado e/ou disponíveis nas páginas da *web*. O QUADRO 1, relaciona os materiais selecionados, informando sua cor predominante e procedência em relação aos centros produtores.

**QUADRO 1**

Relação dos tipos pétreos selecionados para análises

| <b>Identificação dos Materiais Selecionados</b> | <b>Cor Predominante</b> | <b>Procedência</b>          |
|---|-------------------------|-----------------------------|
| Verde Savana                                    | Verde                   | CPCO                        |
| Granito Knawa                                   | Cinza localmente rosada | CPCO                        |
| Verde Van Gogh                                  | Verde                   | CPCO                        |
| Branco Nepal                                    | Branco                  | CPCO                        |
| Verde Candeias                                  | Verde                   | CPCO                        |
| Violeta Candeias                                | Violeta                 | CPCO                        |
| Verde São Francisco                             | Verde                   | CPCO                        |
| Nero Porto Rosa                                 | Preto                   | CPCO                        |
| Rosa Raíssa                                     | Rosa                    | CPCO                        |
| Preto Piracema                                  | Preto                   | CPCO                        |
| DQ_04*  | Preto                   | CPCO                        |
| Car_01*   | Verde                   | CPCO                        |
| RV_01*  | Verde                   | CPCO                        |
| UI_04*  | Verde                   | CPCO                        |
| Charnockito Padre Paraíso                       | Verde                   | Leste Mineiro               |
| Amarelo Medina                                  | Amarelo                 | Leste Mineiro               |
| Café Imperial                                   | Marrom                  | Caldas                      |
| Giallo Califórnia                               | Amarelo                 | Dores de Guanhões           |
| Serpentinito                                    | Verde                   | Quadrilátero Ferrífero      |
| Esteatito                                       | Verde                   | Quadrilátero Ferrífero      |
| Serizzo Formazza                                | Cinza                   | Região da Verbânia - Itália |
| Bianco Montofano                                | Branco                  | Região da Verbânia - Itália |
| Beola Grigia                                    | Cinza                   | Região da Verbânia - Itália |
| Rosa Baveno                                     | Vermelho                | Região da Verbânia - Itália |

#### 4.4 Definição da Área de Enfoque

O Centro Produtor de Candeias-Oliveira (CPCO), foi escolhido para detalhamento devido à sua localização privilegiada em relação às vias de acesso, de escoamento e em relação aos principais centros consumidores. Apresenta ainda significativo número de lvara, sendo que a grande quantidade e qualidade de materiais produzidos, confere a este centro posição tradicional no mercado mineiro das rochas ornamentais.

#### 4.5 Etapas de Campo

Etapas de campo foram realizadas no decorrer dos anos de 2003, 2004 e 2005 com os objetivos de amostrar, localizar e caracterizar do ponto de vista geológico, os jazimentos (pedreiras em atividade ou recentemente paralizada) referentes as amostras relacionadas na TAB. 1. Dessa forma foram visitados os seguintes centros produtores: Medina, Dolores de Guanhões, a Região de Candeias-Oliveira, a Região da Verbânia na Itália (Figura 10) e rochas metultramáficas do Quadrilátero Ferrífero.



FIGURA 10: Exemplos de jazidas visitadas durante as etapas de campo

Nota: (a) – da variedade Beola Grigia, na Região da Verbânia na Itália, (b) – da variedade Verde Van Gogh no município de Oliveira, Minas Gerais.

Ainda durante as etapas de campo, foram também levantados pontos de controle para georreferenciamento das imagens de satélite, calibração e checagem das técnicas de detecção de alvos com possível valor ornamental.

#### 4.6 Caracterização Tecnológica

A normalização é um instrumento técnico que deve ser utilizado para apoiar a indústria, a fim de garantir a qualidade dos produtos e serviços. Existem diversas associações e órgãos responsáveis pela criação e atualização das normas relacionadas com a caracterização tecnológica das rocha com aplicação ornamental.

A realização dos ensaios tecnológicos se deu no Labtec Rochas do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa – Figura 11, tendo sido observadas as metodologias em conformidade com as seguintes normas técnicas:

- Determinação do Desgaste por Abrasão – NBR 12042;
- Determinação da Resistência à Compressão – NBR 12767;
- Determinação do Módulo de Flexão ASTM - 880-89;
- Determinação dos Índices Físicos – NBR 12766;
- Descrição Petrográfica – NBR 12768.



(A)



(B)

FIGURA 11: Labtec Rochas

Nota: **A)** Exemplos de equipamentos empregados para a realização dos ensaios de caracterização tecnológica; **B)** Detalhe dos corpos de prova para realização do ensaio de determinação dos Índices Físicos.

As análises petrográficas compreendem os aspectos descritivos tais como: identificação e quantificação de minerais, relações texturais, granulação, padrões de microfissuramento e os tipos de contatos entre os grãos, uma vez que estes fatores influenciam de forma direta as propriedades físico-mecânicas dos materiais pétreos.

Para a quantificação dos minerais foram realizadas análises modais com contagem entre 600 e 1000 pontos, conforme a granulação da rocha. Em certos casos optou-se pelo método da estimativa visual.

Durante as descrições petrográficas, foi levantado o grau de microfissuramento, conforme Frascá (2003). A classificação adotada levou em conta quatro diferentes classes, apresentadas no QUADRO 2.

## QUADRO 2

Classificação do grau de microfissuramento

| <b>GRAU</b> | <b>MICROFISSURAMENTO</b>  |
|-------------|---|
| Incipiente  | Fissuras praticamente imperceptíveis  |
| Fraco       | Microfissuras perceptíveis, predominantemente intragranulares, fechadas e frequentemente sem preenchimento.     |
| Moderado    | Microfissuras totalmente perceptíveis, predominantemente intra e intergranulares, preenchidas mas pouco largas. |
| Forte       | Microfissuras totalmente perceptíveis, trans, inter e intragranulares, preenchidas e largas.                    |

Fonte: Frascá (2003)

Com o objetivo de se quantificar o grau de microfissuramento das amostras analisadas, foi proposta uma separação deste parâmetro em uma escala entre 0 e 100, conforme os intervalos relacionados na TAB. 2.

**TABELA 2**

Valores atribuídos (mínimo e máximo) para os intervalos do grau de microfissuramento

| <b>Graus de Microfissuramento</b> | <b>Intervalos de Valores atribuídos<br/>(mínimo e máximo)</b> |
|-----------------------------------|---|
| Ausente a Incipiente              | 0,0 a 12,5  |
| Incipiente                        | 12,5 a 25,0   |
| Incipiente a fraco                | 25,0 a 37,5   |
| Fraco                             | 37,5 a 50,0   |
| Fraco a moderado                  | 50,0 a 62,5   |
| Moderado                          | 62,5 a 75,0   |
| Moderado a forte                  | 75,0 a 87,5   |
| Forte                             | 87,5 a 100  |

Além da composição mineralógica, foram calculados os índices de coloração  $[100 - (\text{quartzo} + \text{feldspatos})]$  e o índice de quartzo  $(100 \times \text{quartzo} / (\text{quartzo} + \text{feldspatos}))$ . Para obter uma melhor classificação dos contados entre os grãos, foram confeccionados mosaicos com base na junção de fotomicrografias digitais.

## 5 MATERIAIS ENVOLVIDOS

Neste capítulo são apresentada os materiais pétreos envolvidos, assim como a contextualização geológica dos Centros Produtores de cujos jazimentos foram extraídos os materiais analisados.

Optou-se pela seleção de diferentes tipos de materiais em sua maioria granitos ornamentais produzidos e comercializados em Minas Gerais, provenientes dos Centros Produtores de Dolores de Guanhanes, de Candeias-Oliveira, do Leste de Minas, Caldas e do Quadrilátero Ferrífero. Na Figura 12 encontram-se representados os principais Centro Produtores de rochas ornamentais em Minas Gerais.

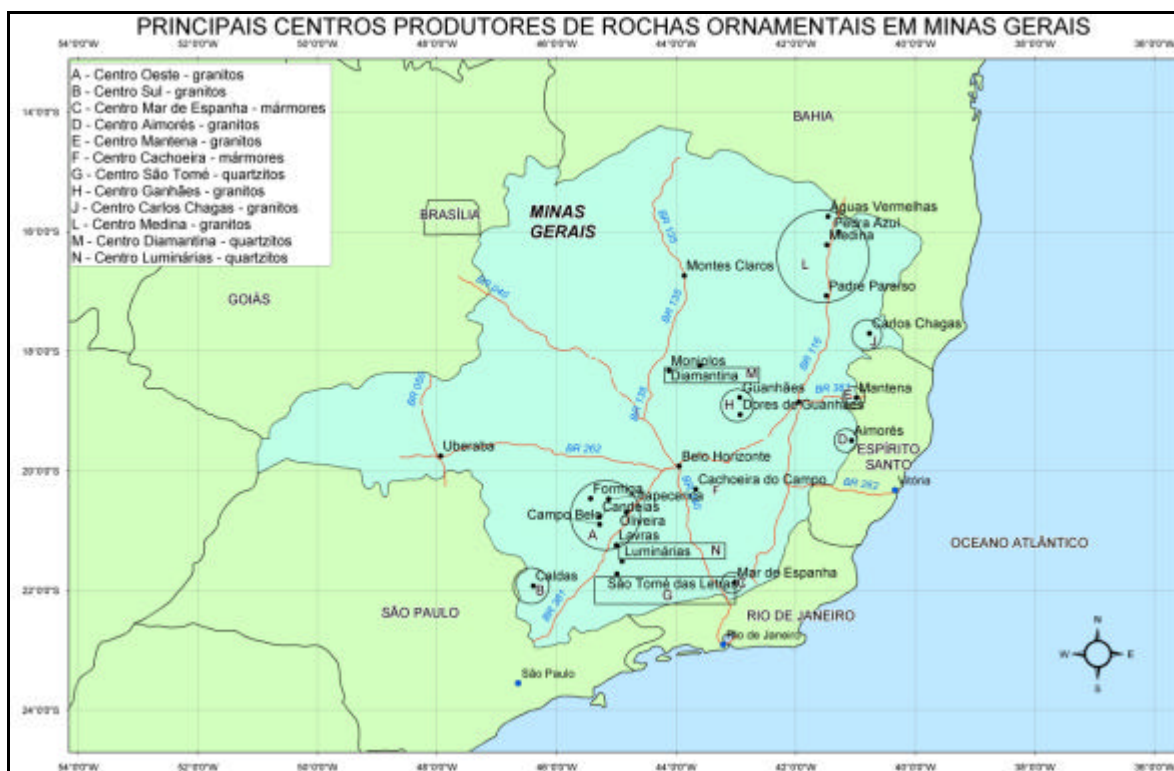


FIGURA 12 - Principais centros produtores de rochas ornamentais de Minas Gerais.

Fonte: modificado de Chiodi Filho (1995).

Em parte, alguns dos resultados analisados foram obtidos através da compilação de valores contidos em dissertações de mestrado. Outros foram obtidos a partir de caracterizações tecnológicas realizadas nos laboratório do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, o **LabtecRochas**.

## 5.1 O Centro Produtor de Candeias – Oliveira

### 5.1.1 Localização

A área do CPCO, também denominado de Centro Produtor do Oeste de Minas Gerais, é definida entre os paralelos 7680000N e 7770000N e entre os meridianos 0470000E e 0556000E, envolvendo alguns municípios de Minas Gerais de forma parcial. São eles: Sto Antônio do Monte, São Sebastião do Oeste, Divinópolis, Carmo do Cajuru, Rio Manso, Crucilândia, Piedade dos Gerais, Piracema, Desterro de Entre Rios, Resende Costa, Ritópolis, Itatiaiuçu, São Tiago, Bom Sucesso, Santo Antônio do Amparo, Cana Verde, Perdões, Campo Belo, Candeias, Formiga, Itapecerica e Pedra do Indaiá. Os municípios incluídos de forma integral são: Oliveira, Cláudio, Itaguara, Carmópolis de Minas, Passa Tempo, Carmo da Mata, Camacho, São Francisco de Paula e Santana do Jacaré, conforme representado na FIG.13.



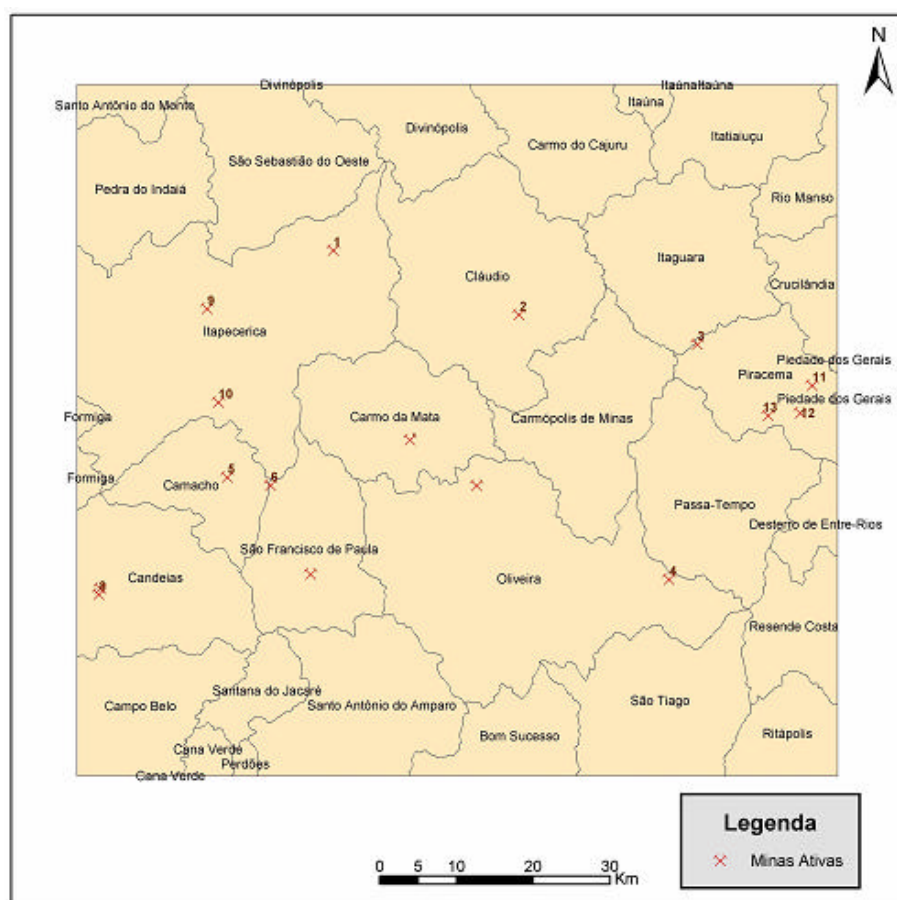


FIGURA 13 - Localização das principais pedreiras em atividade na região do CPCO

O principal acesso à área se faz pela BR 381 (rodovia Fernão Dias), seguido por rodovias estaduais pavimentadas e por ferrovias que ligam as principais cidades. A região apresenta grande quantidade de rodovias secundárias não pavimentadas, que complementam a rede ferroviária facilitando, deste modo o escoamento da produção de rochas ornamentais de toda região.

### 5.1.2 Aspectos da Geologia

O CPCO é constituído em sua maior parte (estima-se que em mais de 80% da área) pelas rochas do Complexo Metamórfico Campo Belo (CMCB), conforme definido por Teixeira *et.al.* (1996). A região encontra-se inserida no contexto geotectônico da porção sul do Cráton São Francisco, como definido por Almeida (1977), sendo entendida como uma

feição do neoproterozóico moldada pelo Evento Brasiliano, embora tenha se consolidado como segmento da litosfera continental no Arqueano. (Alkimin et al., 1993) (FIG. 14)

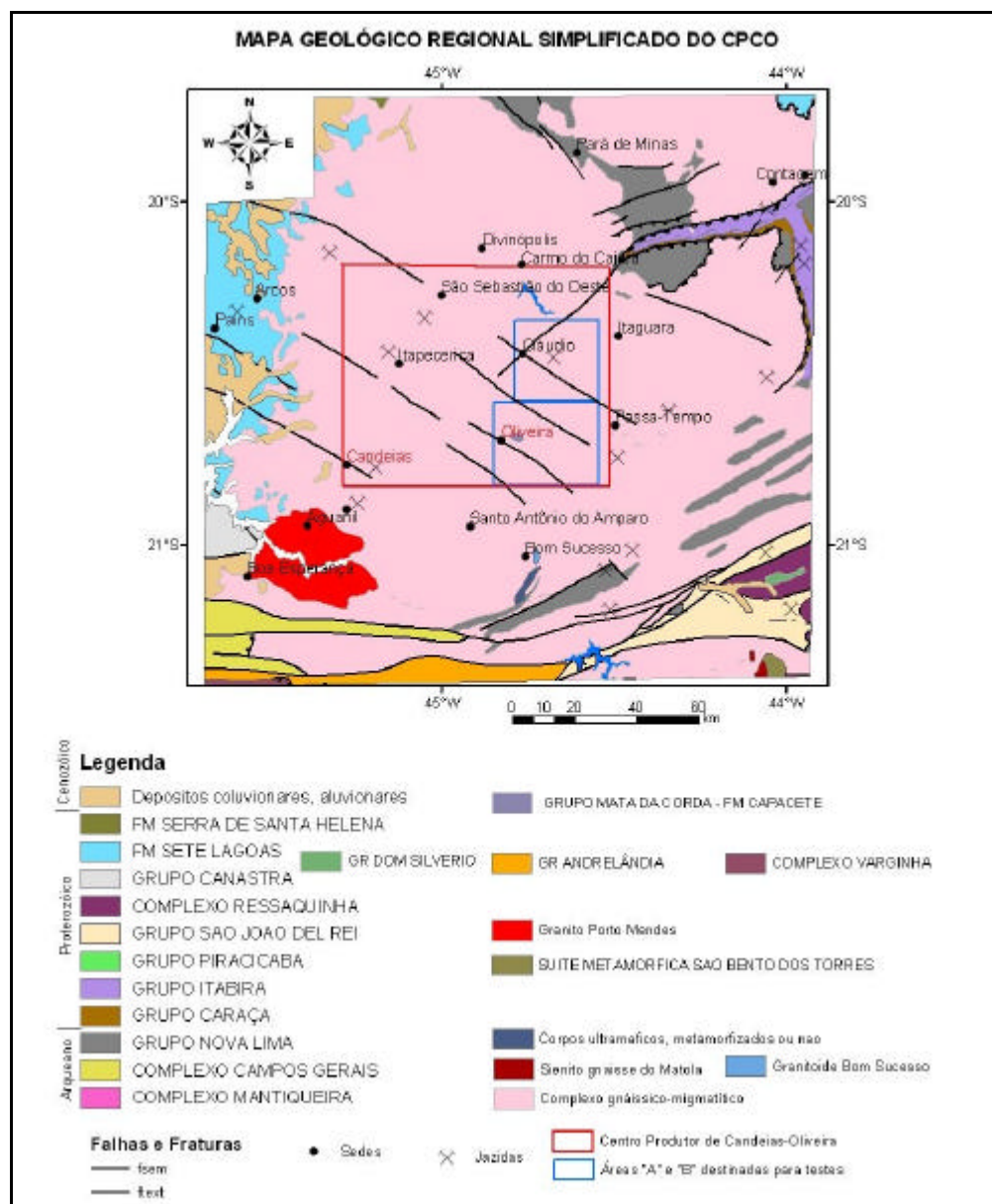


FIGURA 14 - Mapa de contextualização geológica regional.

Fonte: adaptado de Minas Geraís 2003.

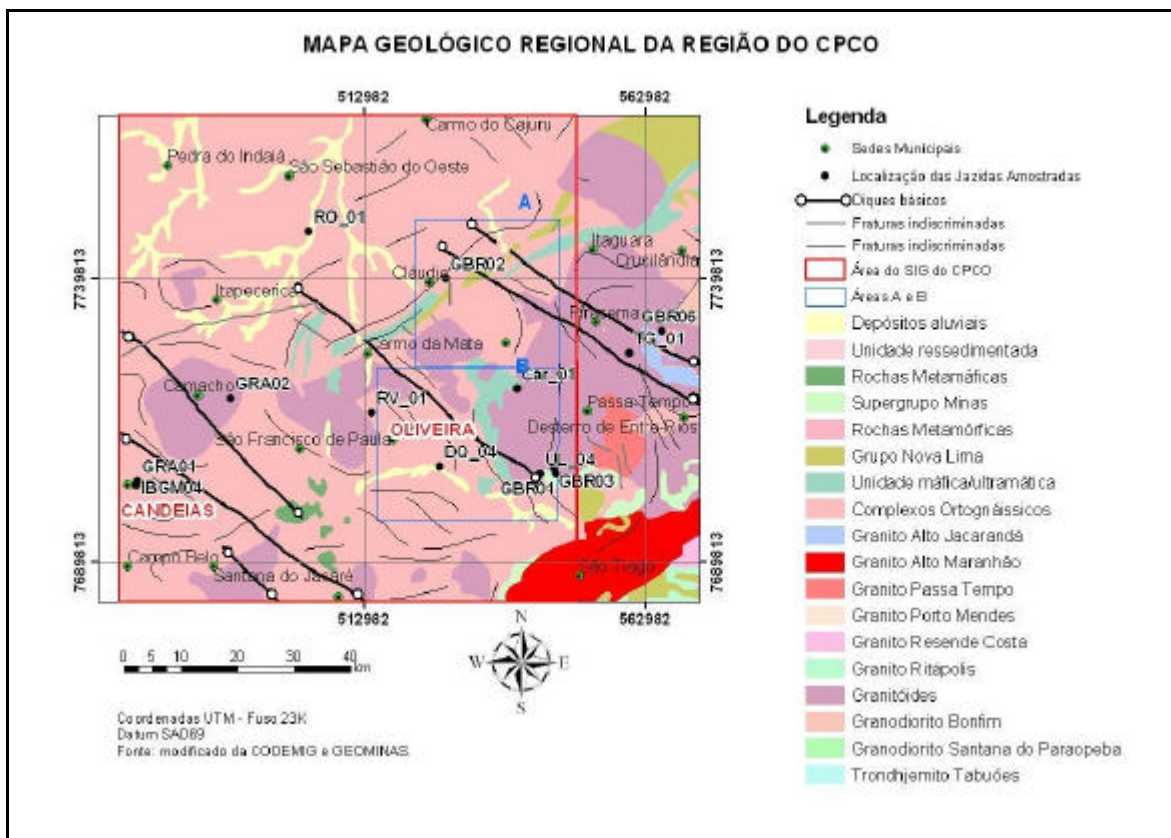


FIGURA 15 - Mapa de contextualização geológica do CPCO

Fonte: modificado de Minas Gerais (2003).

O CMCB é constituído por rochas gnáissicas do fácies anfibolito, podendo ocorrer de forma subordinada granitos a hiperstênio, indicando maior grau metamórfico. De acordo com Teixeira et. al.(1996), aparentemente o evento de migmatização atingiu outros setores da porção sul do Cráton, a exemplo do Complexo Metamórfico Belo Horizonte, dentre outros. Os resultados das datações U-Pb em zircões das rochas da Mineração Campo Belo indicam que a migmatização possui idade de  $2839 \pm 17$  Ma, demonstrando uma maior antiguidade em relação aos complexos Belo Horizonte e Bonfim.

Os migmatitos, geralmente, apresentam bandas máficas e félsicas alternadas, localmente apresentam variações composicionais de granodiorítica a granítica, granulação variando de média a grossa. Em afloramentos não intemperizados apresentam coloração predominantemente cinza. Mostram-se muitas vezes foliados, com bandamento cortado por veios leucocráticos tardios. Quanto à estrutura, podem ser nebulítica, shöllen e, mais raramente, agmática (FIG.16).



FIGURA 16 - Exemplos de extruturas do CMCB

Nota: (a) – shöllén; (b) agmática – bancada inferior da pedra de Marilândia (da variedade Rosa Raíssa), distrito de Itapeçerica, Minas Gerais.

O aspecto fluidal sugere que estas rochas atingiram um estado de alta plasticidade, atestando processos de fusão parcial. Resíduos anatéticos e encraves máficos deformados são frequentes, em diversos tamanhos e formas. Gallo *et. al.* (1997) descrevem rocha semelhante (Migmatito Knawa, município de Cláudio-MG), no entanto sugerindo que os encraves poderiam ser interpretados como restos de diques máficos intrudidos no protólito gnáissico, submetidos a processo de “boudinagem” e cisalhamento.

Veios graníticos e pegmatóides cortam as diversas estruturas, sendo provavelmente resultantes das últimas manifestações de fusão parcial dos gnaisses. Os migmatitos foram posteriormente afetado por deformação rúptil, representada por sistemas de fraturas.

Subordinado ao dos migmatitos, ocorre um domínio granitóide, constituído por rochas de composição granítica a granodiorítica. Essas rochas diferenciam-se dos migmatitos pela sua homogeneidade e ausência de estruturas migmatíticas. São constituídas, principalmente, por quartzo, biotita, microclina e plagioclásio, apresentando foliação penetrativa marcada pela biotita.

Segundo Carneiro *et.al.* (1997), rochas de composição ultramáfica-máfica ocorrem na região do Ribeirão dos Motas na forma de seqüência acamadada. Os mesmos autores sugerem que estas seriam intrusivas nas rochas arqueanas do CMCB. Nesta região, além de intercalações sistemáticas de peridotitos com piroxenitos, encontram-se matacões de anfibolitos.

Nas imediações da cidade de Campo Belo, Teixeira *et al* (1996) descrevem os dois complexos – Divinópolis e Barbacena – como sendo uma única unidade, denominado-a de CMCB. Sendo assim, os autores consideram as rochas deste complexo, como sendo as que apresentam as idades mais antigas da porção cratônica meridional.

Oliveira (1999), em estudos mais detalhados na região, subdivide a geologia desta área em unidades da seguinte forma: Suíte Gnáissica (unidades Cláudio, Itapecerica e Candeias), Suíte Anfibolítica (*boudins* de anfibolitos), Supergrupo Rio das Velhas (metaultramáficas, anfibolitos, quartzitos, xistos (granada-silimanita, xisto e ferríferas), Suíte Máfica Fissural (diques de rochas básicas “gabróicas”).

As principais características das unidades que constituem a Suíte Gnáissica são:

- 1- **Unidade Cláudio:** gnaisses deformados, migmatizados com coloração predominantemente cinza, embora apresentem mobilizados pegmatíticos de coloração rósea, podendo apresentar intrusões graníticas, diques de pegmatito concordantes ou não e diques anfibolíticos boudinados.
- 2- **Unidade Itapecerica:** rochas de coloração rósea, deformadas e migmatizadas, podendo ser observadas porções de gnaisses mais cinza no seu interior. Nota-se que estas rochas apresentam-se mais afetadas pelo evento da migmatização regional, motivo pelo qual se apresentam mais rosadas. Comumente apresentam diques pegmatíticos e anfibolíticos, mas não são encontrados indícios de corpos graníticos.
- 3- **Unidade Candeias:** rochas de coloração verde, de aspecto homogêneo, com pouca deformação. Estas rochas apresentam veios pegmatíticos e diques de rocha básica como os demais. Quanto à quantidade de mobilizados róseos, esta é muito semelhante a da Unidade Cláudio.

Portanto as rochas do CMCB, são as que mais favorecem o desenvolvimento de pedreiras para exploração dos tipos com valor ornamental. A análise estrutural desta área, sob a ótica deste mesmo autor, indica que estas rochas foram submetidas a três grandes eventos deformacionais. O segundo e mais expressivo na região, pode ter ocorrido simultaneamente com o processo de migmatização, responsável pela geração regional de corpos graníticos, intrusivos no domínio das rochas gnáissicas.

A foliação principal impressa nestas rochas é evidenciada por um fino bandamento composicional representado pela orientação dos minerais prismáticos e micáceos, podendo sua estrutura ser difusa e do tipo nebulítica. Possui direções preferenciais NE/SW com mergulhos, em geral, de médio a alto ângulo e caimento variando de NW para SE

(Oliveira, 1999). Segundo Teixeira et al. (1985) um enxame de diques máficos corta toda a região do centro produtor, aproveitando lineamentos finos e contínuos por centenas de metros até dezenas de quilômetros, dispostos preferencialmente segundo a direção NW-SE e E-W, de forma subordinada. Esses diques têm espessuras variáveis, que vão de alguns até dezenas de metros. Correspondem, petrograficamente, a variedades de composição básica, podendo os mesmos serem classificados como gabros em sua maioria, exibindo texturas porfiríticas e ofíticas. Segundo análises geoquímicas, esses materiais são classificados como toleíticos e suas composições mineralógicas envolvem a presença de plagioclásio, augita, opacos, apatita, hornblenda e algum quartzo. Como representantes do CPCO, foram selecionados dez tipos ornamentais relacionados no QUADRO 3, a seguir.

### QUADRO 3

Relação dos tipos ornamentais produzidos no Centro Produtor de Candeias – Oliveira

| <b>Amostra</b> | <b>Denominação Comercial</b> | <b>Cor Predominante</b> |
|----------------|------------------------------|-------------------------|
| GBR01          | Verde Savana                 | Verde                   |
| GBR02          | Granito Knawa                | Cinza                   |
| GBR03          | Verde Van Gogh               | Verde                   |
| GBR06          | Branco Nepal                 | Branco                  |
| IBGM04         | Verde Candeias               | Verde                   |
| GRA01          | Violeta Candeias             | Violeta-laranja         |
| GRA02          | Verde São Francisco          | Verde                   |
| GRA03          | Nero Porto Rosa              | Preto                   |
| RO_01          | Rosa Raíssa                  | Rosa                    |
| TG_01          | Preto Piracema               | Preto                   |
| DQ_04          | Sem denominação              | verde escuro            |
| Car_01         | Sem denominação              | Verde                   |
| RV_01          | Sem denominação              | Verde                   |
| UI_04          | Sem denominação              | Verde                   |

TABELA 3

Análise petrográfica - 01

|   |  |  |   |   |                          |
|---|--|--|---|---|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Verde Savana  |  | <b>Procedência:</b><br>Região de Passa Tempo e Oliveira MG |   | <b>Amostra:</b><br>GBR 01                                 |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor verde, apresenta bandamento centimétrico, constituído por feldspato verde e branco, quartzo incolor e minerais máficos.   |  |  |   |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |  |   |   |                          |
| <b>Análise Textural:</b> granular hipidiomórfica, rocha inequiangular apresentando estruturas mirmequíticas; Os cristais de quartzo apresentam na maioria das vezes contato do tipo côncavo convexo, enquanto que nos feldspatos ocorrem os do tipo interlobado e ainda o côncavo convexo.  |  |  |   |   |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> gnaissificada  |  |  |   |   |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Kfeldspato pertítico (microclina), quartzo, plagioclásio, biotita e ortopiroxênio (hiperstênio);  |  |  |   |   |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita, opacos;  |  |  |   |   |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> carbonato, sericita, quartzo, biotita, clorita;  |  |  |   |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> o quartzo e o Kfeldspato são os minerais predominantes, os grãos de quartzo mostram extinção ondulante, sendo os contatos predominantemente do tipo côncavo-convexo. O K-feldspato (microclina), é na maioria das vezes pertítico, estando livre de alterações. O plagioclásio ocorre em cristais, alguns apresentando maclas alteradas para sericita, às vezes, bordas de albita. O ortopiroxênio (hiperstênio), ocorre em cristais subédricos, formando simplectitos biotita-quartzo. As biotitas mostram pleocroísmo marrom a acastanhado às vezes formando simplectitos quartzo-biotita. Agregados de biotita, clorita e epidoto, sugerem possível existência de mineral ferro-magnésiano. |  |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |   |                          |
|   |  |  |  |   |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |  |  |   |   |                          |
| <b>Quartzo</b>  |  | <b>Kfeldspato</b>  |   | <b>Plagioclásio</b>                                       |                          |
| 37,5  |  | 38,6   |   | 10,4  |                          |
|   |  |  |   | <b>Outros: 13,5</b><br>Biotita, hornblenda, ortopiroxênio |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |  |  |   | <b>Grau de microfissuramento: 37,5</b>                    |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   |  | <b>Poligonal</b>   |   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                               |                          |
| 85  |  | -  |   | 15  |                          |
|   |  |  | <b>Índice de coloração</b>  |   | <b>Índice de Quartzo</b> |
|   |  |  | 13,5  |   | 44,5                     |
| Observações:  |  |  |   |   |                          |

TABELA 4

## Características Físico Mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,64<br><br>Porosidade Aparente (%) = 0,47<br>Absorção d'água (%) = 0,18 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 133,62<br><br>Resistência a Flexão (MPa) = 9,17<br>Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 1,32 |
|--|--|

TABELA 5

## Análise petrográfica – 02

(Continua)

|   |                                       |   |
|---|---------------------------------------|---|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Granito Knawa  | <b>Procedência:</b><br>Cláudio – M.G. | <b>Amostra:</b><br>GBR 02   |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor cinza localmente rosada movimentada, apresenta estruturas migmatíticas de granulação fina a média, com porções quartzo feldspáticas e porções melanocráticas descontínuas, determinadas pelos minerais máficos.   |                                       |   |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                                       |   |
| <b>Análise Textural:</b> inéquigranular de granulação grossa localmente média; O tipo de contato predominante é o côncavo-convexo, contatos do tipo reto observados entre as paletas de mica e feldspatos.  |                                       |   |
| <b>Análise Estrutural:</b> gnaissificada, localmente migmatítica e pegmatóide.  |                                       |   |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> kfeldspato (microclina), quartzo, plagioclásio e biotita;   |                                       |   |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita, titanita e opacos;   |                                       |   |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> carbonato, sericita, epidoto e clorita.  |                                       |   |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O Kfeldspato (microclina) é o mineral predominante, ocorre em megacristais subédricos a euédricos, pertíticos, apresentando fraturas preenchidas por mica, provável clorita. O quartzo apresenta extinção ondulante mostrando bordas corroídas. Os plagioclásios apresentam-se bastante alterados, substituídos por sericita, carbonato e epidoto. Biotitas apresentam pleocroísmo em tons do amarelo claro ao marrom escuro, na forma de palhetas, ora alteradas para clorita (indicando retrometamorfismo). Os pacos (prováveis sulfetos) ocorrem em cristais subédricos localmente com halos de alteração. Epidoto, ocorre localmente como alteração dos plagioclásios. |                                       | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b><br> |



**TABELA 5**

Análise petrográfica – 02

(Conclusão)

| <b>Análise Modal (%)</b>                |                        |                             |  |                          |
|---|------------------------|-----------------------------|--|--------------------------|
| <b>Quartzo</b>                          | <b>Kfeldspat<br/>o</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros: 6,9</b><br>Biotita, epidoto e opacos. |                          |
| 28,0                                    | 54,8                   | 9,6                         |  |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>              |                        |                             | <b>Grau de microfissuramento: 50</b>             |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b> | <b>Poligonal</b>       | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>                       | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 70                                      | -                      | 30                          | 7,6  | 30,07                    |

**TABELA 6**

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,66 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -     |
| Porosidade Aparente (%) = 0,27                       | Resistência a Flexão (MPa) = -                  |
| Absorção d'água (%) = 0,10                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,79 |

TABELA 7

Análise petrográfica – 03

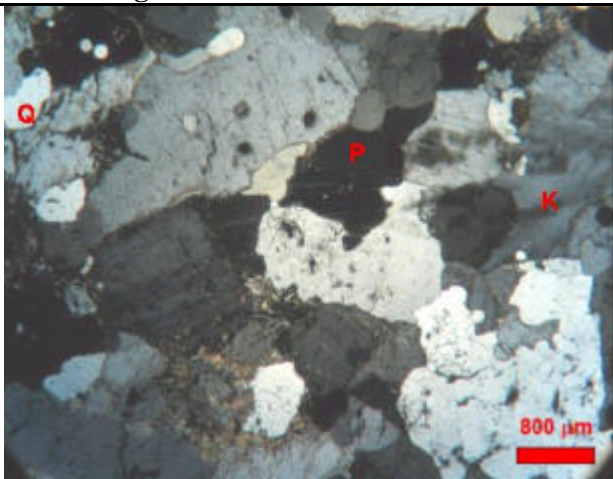
|  |                   |  |   |   |  |
|--|-------------------|--|---|---|--|
| <b>Denominação Comercial:</b> Verde Van Gogh   |                   | <b>Procedência:</b> Morro do Ferro Distrito de Oliveira M.G. |   | <b>Amostra:</b> GBR 03  |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor verde clara movimentada, de granulação média a fina apresentando bandamento no qual os minerais máficos são constituídos por biotita e anfibólio sendo as partes claras a esverdeadas constituídas por feldspato e quartzo.  |                   |  |   |   |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |                   |  |   |   |  |
| <b>Análise Textural:</b> granular hipidiomórfica, sendo os contatos predominantemente do tipo côncavo-convexo.   |                   |  |   |   |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnaissificada   |                   |  |   |   |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> plagioclásio, quartzo, Kfeldspato (microclina), biotita, anfibólio, ortopiroxênio;   |                   |  |   |   |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita e opacos.  |                   |  |   |   |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> ortopiroxênio, bastita, carbonato, clorita e epidoto  |                   |  |   |   |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O Kfeldspatos é o mineral mais abundante, havendo a predominância da microclina pertítica; apresentam fraturas preenchidas por clorita e sericita, pertitas alteradas para carbonato e sericita. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, ocorrendo ou em cristais subédricos apresentando extinção ondulante e bordas corroídas ou em grãos arredondados inclusos nos feldspatos. Os plagioclásios encontram-se sempre alterados para carbonato, sericita e epidoto. Biotitas ocorrem em palhetas apresentando pleocroísmo em tons de castanho mostrando sempre palhetas alteradas para clorita. Textura saenítica (agulhas de rutilo) está presente no anfibólio (provável hornblenda) assim com nas biotitas. |                   |  |   | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |  |
|  |                   |  |   |  |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |  |   |   |  |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>  | <b>Outros:</b> 4,5<br>Carbonato, biotita, sericita. |   |  |
| 22,0   | 51,5              | 21,5   |   |   |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |  | <b>Grau de microfissuramento:</b> 75                |   |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                                  | <b>Índice de coloração</b>                          | <b>Índice de Quartzo</b>  |  |
| 90   | 5                 | 5  | 5   | 22,58   |  |

TABELA 8

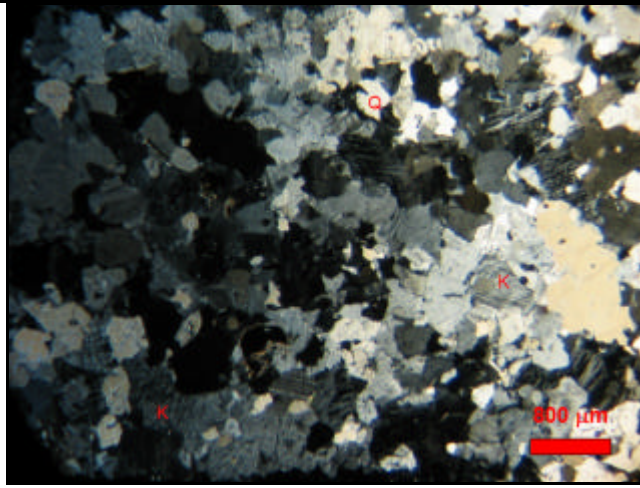
Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,63 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -     |
| Porosidade Aparente (%) = 0,35                       | Resistência a Flexão (MPa) = 15,35              |
| Absorção d'água (%) = 0,13                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,66 |

TABELA 9

Análise petrográfica – 04

(Continua)

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
| <b>Denominação Comercial:</b> Branco Nepal   | <b>Procedência:</b> Piracema/MG  | <b>Amostra:</b> GBR 06 |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor branca com tonalidades verdes (leucocrática) granulação variada, apresentando orientação dos máficos, granada e mica, raros porfiros de feldspato.   |  |                        |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |  |                        |
| <b>Análise Textural:</b> rocha inéquigranular de granulação fina a grossa, apresenta predominância dos contatos do tipo côncavo-convexo;   |  |                        |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnaissificada   |  |                        |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato (microclina), quartzo, biotita, granada e plagioclásio;  |  |                        |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> apatita, opacos  |  |                        |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clorita, carbonato, epidoto e sericita;   |  |                        |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O K-feldspato (microclina) é o mineral predominante, pertítico em cristais anédricos, mostram-se pouco fraturados e livres de alteração. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, ocorre ou na forma de cristais anédricos com extinção ondulante e bordas corroídas, ou na forma arredondada incluso nos cristais de feldspato. Raro plagioclásio, em grãos subédricos, raramente alterado para carbonato, sericita e epidoto (pistacita e clinzoisita). Palhetas de biotita ora apresentam-se alteradas para clorita. São comuns estruturas mirmequíticas. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                        |
|  |  |                        |

**TABELA 9**

Análise petrográfica – 04

(Conclusão)

| Análise Modal (%)                       |                   |                             |                                      |                          |
|---|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Quartzo</b>                          | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros: 3,9</b>                   |                          |
| 41,3                                    | 51,5              | 3,3                         | granada,biotita                      |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>              |                   |                             | <b>Grau de microfissuramento: 50</b> |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b> | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>           | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 95                                      | -                 | 5                           | 5                                    | 42,83                    |

**TABELA 10**

Características Físico Mecânicas

|   |  |
|---|--|
| Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) = 2,64 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 172,38 |
| Porosidade Aparente (%) = 0,44                        | Resistência a Flexão (MPa) = 13,10               |
| Absorção d'água (%) = 0,16                            | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,57  |
| Observações:  |  |

**TABELA 11**

Análise petrográfica – 05

(Continua)

| <b>Denominação</b>  | <b>Procedência:</b> | <b>Amostra:</b> |
|---|---------------------|-----------------|
| <b>Comercial:</b> Verde Candeias  | Candeias/MG         | IBGM 04         |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor verde escura, de granulação variada (preferencialmente média a fina), apresentando foliação denotada pelos minerais máficos. São comuns cristais anédricos de feldspato verde de granulação grossa. |                     |                 |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                     |                 |
| <b>Análise Textural:</b> rocha granular hipidiomórfica apresentando estruturas mirmequíticas, predominam os contatos interlobados e côncavos-convexos.  |                     |                 |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnaissific ada   |                     |                 |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> quartzo, plagioclásio, biotita e K-feldspato (microclina);  |                     |                 |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita e opacos;   |                     |                 |

TABELA 11

Análise petrográfica – 05

(Conclusão)

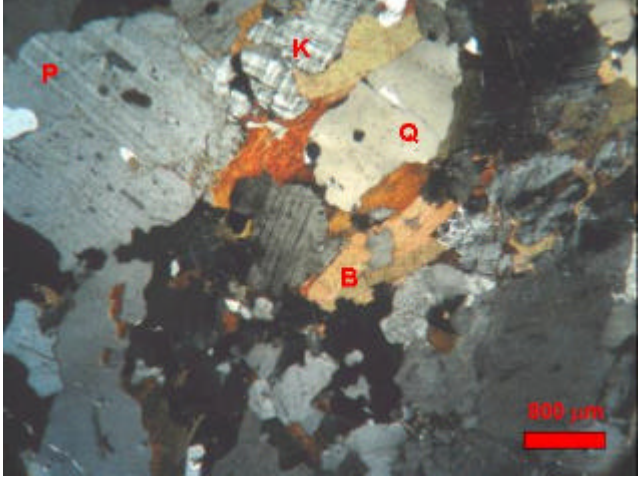
|  |                   |                             |  |                          |
|--|-------------------|-----------------------------|--|--------------------------|
| <b>Mineralogia Secundária:</b> carbonato, quartzo, anfibólio, clorita, biotita e opacos; quartzo presente como resultado de processos;   |                   |                             |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> o plagioclásio é o mineral dominante em megacristais; às vezes antipertíticos, muitos apresentam-se fraturados e alterados para carbonato e sericita. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, possuindo extinção ondulante e bordas corroídas, estando ainda presente na forma arredondada, incluso nos feldspatos. O K-feldspato é a microclina pertítica; apresenta fraturas preenchidas por mica. Biotitas apresentam pleocroísmo do marrom ao castanho. São comuns agregados pseudomórficos de clorita-anfibólio-biotita e crescimento simplectítico, quartzo-biotita, bem como estruturas mirmequíticas. |                   |                             | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                          |
|  |                   |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |                             |  |                          |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros:</b> 15,0<br>biotita, anfibólio e opacos                                 |                          |
| 30,3   | 22,6              | 32,1                        |  |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |                             | <b>Grau de microfissuramento:</b> 50   |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>   | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 90   | -                 | 10                          | 15   | 28,08                    |

TABELA 12

Determinação Características Físico Mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,70 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -     |
| Porosidade Aparente (%) = 0,31                       | Resistência a Flexão (MPa) = 17,69              |
| Absorção d'água (%) = 0,12                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,81 |

TABELA 13

Análise petrográfica – 06

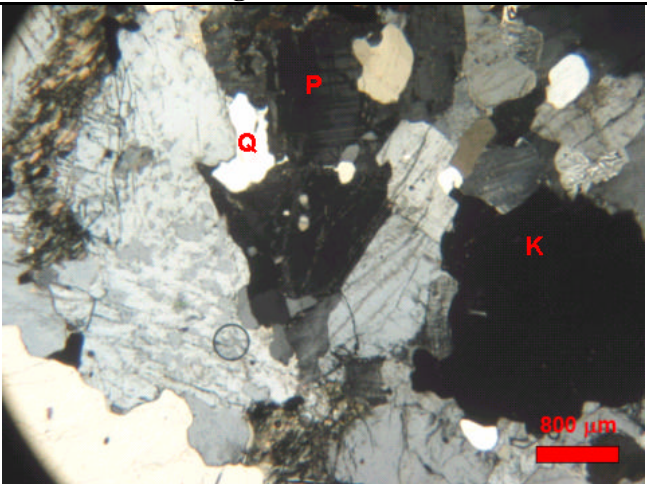
|  |   |                             |   |                          |
|--|---|-----------------------------|---|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Violeta Candeias   | <b>Procedência:</b><br>Candeias – M. G. |                             | <b>Amostra:</b><br>GRA01  |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor violeta, apresentando estrutura gnáissica com bandamento centimétrico.   |   |                             |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |   |                             |   |                          |
| <b>Análise Textural:</b> granoblástica, ocorre predomínio dos contatos do tipo interlobados e côncavo-convexo.   |   |                             |   |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> apresenta estrutura gnaissificada denotada pela orientação das micas  |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Kfeldspato, quartzo, plagioclásio e biotita  |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> Opacos, zircão e apatita   |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clorita e epidoto   |   |                             |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b><br>A microclina (K-feldspato) é o mineral mais agudante, apresenta-se micropertítico em cristais subédricos. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, apresenta-se com extinção ondulante. O plagioclásio apresenta-se via de regra alterado, alguns totalmente substituídos por clorita, epidoto e carbonato. Já as biotitas ocorrem substituídas por clorita indicando retrometamorfismo. Os minerais opacos ocorrem na forma de cristais anédricos. |   |                             | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |
|  |   |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |   |                             |   |                          |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b>                       | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros: 15</b>   |                          |
| 30,0   | 35,0                                    | 20,0                        | Biotita, clorita, epidoto, opacos   |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |   |                             | <b>Grau de microfissuramento: 62,5</b>  |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>                        | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>  | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 90   | -                                       | 10                          | 15  | 28,08                    |

TABELA 14

Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 26,7 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,35                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,17                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 15

Análise petrográfica – 07

|  |  |  |   |                                      |                          |
|--|--|--|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Verde São Francisco  |  | <b>Procedência:</b><br>São Franciasco de Paula M. G. |   | <b>Amostra:</b><br>GRA02             |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor verde, apresentando granulação média, com orientação denotada pelos minerais máficos.  |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Análise Textural:</b> granoblástica, inequigranular com predominância dos contatos do tipo côncavo-convexo.   |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnáissica migmatítica, em afloramentos schlieren e estromática  |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Kfeldspato, quartzo, plagioclásio, biotita, ortopiroxênio  |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> opacos, titanita e apatita   |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clorita, moscovita, bastita   |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O plagioclásio é o mineral predominante, alguns antipertíticos e alterados para sericita. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, apresenta contatos côncavos convexo, extinção ondulante. O Kfeldspato é a microclina e ocorre em pequenos cristais subédricos, sendo alguns grãos pertíticos. As biotitas ocorrem dispostas na forma de palhetas conferindo orientação à rocha, apresentam pleocroísmo marron claro a marrom escuro. Ocorrem cristais de ortopiroxênio anédricos, via de regra alterados para serpentina (bastita). Minerais opacos e apatitas ocorrem associados principalmente às biotitas. |  |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                                      |                          |
|  |  |  |  |                                      |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |  |  |   |                                      |                          |
| <b>Quartzo</b>   |  | <b>Kfeldspato</b>                                    |   | <b>Plagioclásio</b>                  |                          |
| 25   |  | 40   |   | 24                                   |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |  |  |   | <b>Grau de microfissuramento: 50</b> |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  |  | <b>Poligonal</b>                                     |   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>          |                          |
| 80   |  | -  |   | 20                                   |                          |
|  |  |  | <b>Índice de coloração</b>  |                                      | <b>Índice de Quartzo</b> |
|  |  |  | 11  |                                      | 44,5                     |

TABELA 16

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,64 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -     |
| Porosidade Aparente (%) = 0,41                       | Resistência a Flexão (MPa) = 13,86              |
| Absorção d'água (%) = 0,16                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,71 |

TABELA 17

Análise petrográfica – 08

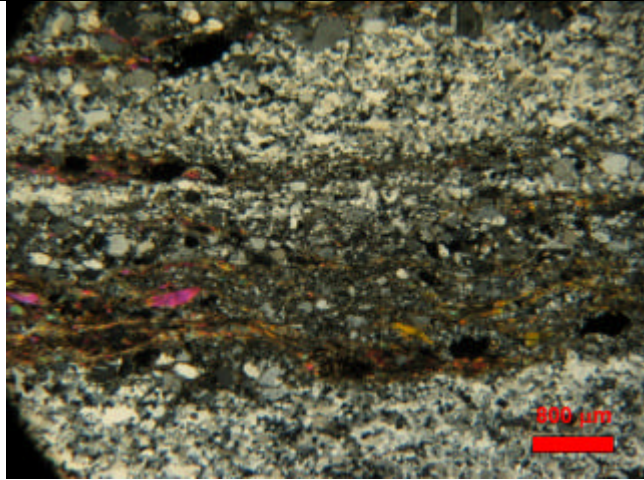
|   |  |   |   |  |  |
|---|--|---|---|--|--|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Nero Porto Rosa   |  | <b>Procedência:</b><br>Boa Esperança – MG |   | <b>Amostra:</b><br>GRA03               |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor escura, apresentando foliação minolítica e vênulas centimétricas espaçadas de coloração branca, ora levemente rosada.   |  |   |   |  |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |   |   |  |  |
| <b>Análise Textural:</b> inequigranular, granoblástica, com predominância dos contatos do tipo côncavo-côvexo e interlobado.  |  |   |   |  |  |
| <b>Análise estrutural:</b> maciça apresentando vênulas em conformidade com o sentido do bandamento gnáissico.   |  |   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> quartzo, Kfeldspato, plagioclásio e biotita   |  |   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão e opacos   |  |   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> epidoto, muscovita, carbonato  |  |   |   |  |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b><br>O K-feldspato é o mineral mais abundante, em cristais de granulação fina apresenta extinção ondulante. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, ocorre em cristais subédricos também com extinção ondulante. O plagioclásio ocorre em cristais de granulação fina, ora alterados para sericita. Biotitas e moscovita ocorrem na forma de prismas subédricos, conferindo orientação à rocha. Minerais opacos (prováveis sulfetos), ocorrem em cristais subédricos com considerável percentual (cerca de 3% do total), muitos destes minerais ocorrem na forma cúbica. |  |   | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |  |  |
|   |  |   |  |  |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |  |   |   |  |  |
| <b>Quartzo</b>  |  | <b>Kfeldspato</b>                         |   | <b>Plagioclásio</b>                    |  |
| 28,5  |  | 48,6                                      |   | 9,4                                    |  |
|   |  |   |   | <b>Outros:</b> 13,5                    |  |
|   |  |   |   | Biotita, muscovita, opacos, granada    |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |  |   |   | <b>Grau de microfissuramento:</b> 37,5 |  |
| <b>Côncavo-côvexo e/ou interlobado</b>  |  | <b>Poligonal</b>                          |   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>            |  |
| 90  |  | -   |   | 10                                     |  |
|   |  |   |   | <b>Índice de coloração</b>             |  |
|   |  |   |   | 13,5                                   |  |
|   |  |   |   | <b>Índice de Quartzo</b>               |  |
|   |  |   |   | 30,07                                  |  |

TABELA 18

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,72 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 193,6 |
| Porosidade Aparente (%) = 0,37                       | Resistência a Flexão (MPa) = 27,29              |
| Absorção d'água (%) = 0,14                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,74 |



TABELA 19

Análise petrográfica – 09

|  |                   |  |   |                          |  |
|--|-------------------|--|---|--------------------------|--|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Rosa Raíssa  |                   | <b>Procedência:</b><br>Marilândia/Divinópolis - MG |   | <b>Amostra:</b><br>RO_01 |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de granulação grossa, gnaissificada constituída por feldspato de cor rosa e quartzo incolor.  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |                   |  |   |                          |  |
| <b>Análise Textural:</b> equigranular de granulação média, com predominância de contatos entre grãos do tipo interlobado.  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> gnáissica migmatítica, localmente agmática, cortada por diques pegmatóides decimétricos.  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Microclina, plagioclásio, quartzo e biotita  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> Apatita, granada e zircão  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> Clorita, epidoto  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> A microclina é o mineral predominante esta presente na forma anédrica, exibem macla típica, sendo a granulação variável: de média a grossa, alguns cristais, apresentam ainda feições de intercrescimento peritítico. O plagioclásio ocorre na forma de cristais anédricos com granulação predominantemente média, muitas vezes seritizados. O quartzo apresenta-se em quantidade menores que os feldspatos, ocorre em cristais incolores, em forma subédrica a anédica e exibindo extinção ondulante e bordas interlobadas podendo ocorrer ainda na forma de pequenos grãos no interior dos feldspatos. As biotitas exibem palhetas em cristais subédricos, com orientação preferencial e exibindo um forte pleocriísmo em tons castanho escuro e amarelado. |                   |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |  |
|  |                   |  |  |                          |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |  |   |                          |  |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>                                | <b>Outros:13</b>  |                          |  |
| 38,5   | 39,0              | 9,5  | Biotita, ortopiroxênio, anfibólio e opacos  |                          |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |  | <b>Grau de microfissuramento: 37,5</b>  |                          |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                        | <b>Índice de coloração</b>  | <b>Índice de Quartzo</b> |  |
| <b>90</b>  | -                 | 10   | 13  | 4,81                     |  |

TABELA 20

## Determinação Características Físico Mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,64 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,29                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,11                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 21

## Análise petrográfica – 10

|   |  |                             |  |                          |
|---|--|-----------------------------|--|--------------------------|
| <b>Denominação Comercial:</b> Preto Piracema  | <b>Procedência:</b> Piracema MG  | <b>Amostra:</b> TG_01       |  |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de coloração escura a acizentada, granulação fanerídica média, com bandamento milimétrico.   |  |                             |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |                             |  |                          |
| <b>Análise Textural:</b> Rocha granolepidoblástica, com bandas finas a média, presença de bandas micáceas.  |  |                             |  |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> isótropa   |  |                             |  |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Clinopiroxênio, Quartzo, Plagioclásio e Biotita   |  |                             |  |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> Apatita   |  |                             |  |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> sulfetos (provável pirita)   |  |                             |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O Plagioclásio, é o mineral mais abundante, em pequenos cristais, maclados conforme a lei da albita. O clinopiroxênio, é o segundo mineral mais abundante e apresenta processo de uranitização. As biotitas ocorrem na forma de finas palhetas, dispostas segundo orientação preferencial da rocha algumas palhetas são interpretadas como produto de alteração dos cristais de piroxênio. Apatita mostra-se às vezes em cristais euédricos (hexagonal) com o alto relevo característicos deste mineral. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                             |  |                          |
|   |  |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |  |                             |  |                          |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b>  | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros : 50,2</b><br>Clinopiroxênio, Biotita, Pirita, Apatita |                          |
| 2,4   | -  | 47,4                        |  |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |  |                             | <b>Grau de microfissuramento: 25</b>                             |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   | <b>Poligonal</b>   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>                                       | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 95  | -  | 5                           | 50,2   | 42,82                    |

TABELA 22

## Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 3,04 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,25                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,16                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 23

## Análise petrográfica – 11

|  |  |                                   |   |  |  |
|--|--|-----------------------------------|---|--|--|
| <b>Denominação Comercial:</b> Sem denominação  |  | <b>Procedência:</b> Oliveira – MG |   | <b>Amostra:</b> DQ_04                  |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor verde escura, granulação fina, constituída predominantemente por minerais máficos.   |  |                                   |   |  |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |  |                                   |   |  |  |
| <b>Análise Textural:</b> subofítica, de granulação fina, inequigranular os contatos retos principalmente entre os cristais de plagioclásio predominam em relação aos demais tipos  |  |                                   |   |  |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> isótropa  |  |                                   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Plagioclásio e olivina   |  |                                   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> opacos (prováveis sulfetos), zircão  |  |                                   |   |  |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clinopiroxênio, epidoto (zoizita / clinozoisita), sericita  |  |                                   |   |  |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O plagioclásio, é o mineral mais abundante, apresenta-se em cristais ripiformes, ora alterados. O clinopiroxênio (titano-augita) encontra-se circundado por massa de minerais alterados (prováveis clorita e sericita). Grãos de quartzo apresentam extinção ondulante. Os minerais opacos ocorrem na forma euédrica a subédrica sendo os mesmos prováveis sulfetos. O anfibólio apresenta-se alterado e com pleocroísmo em tons azulados. Foram ainda verificadas a presença de apatita e rutilo. Sericita, agregados de cristais secundários de epidoto, ocorrem em substituição do plagioclásio. |  |                                   | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b> |  |  |
|    |  |                                   |   |  |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |  |                                   |   |  |  |
| <b>Quartzo</b>   |  | <b>Kfeldspato</b>                 |   | <b>Plagioclásio</b>                    |  |
| -  |  | -                                 |   | 43                                     |  |
| <b>Outros:</b> 57<br>Clinopiroxênio, anfibólio, apatita, quartzo e opacos  |  |                                   |   |  |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |  |                                   |   | <b>Grau de microfissuramento:</b> 37,5 |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  |  | <b>Poligonal</b>                  |   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>            |  |
| 45   |  | 10                                |   | 45                                     |  |
| <b>Índice de coloração</b>   |  |                                   |   | <b>Índice de Quartzo</b>               |  |
| 57   |  |                                   |   | -                                      |  |

TABELA 24

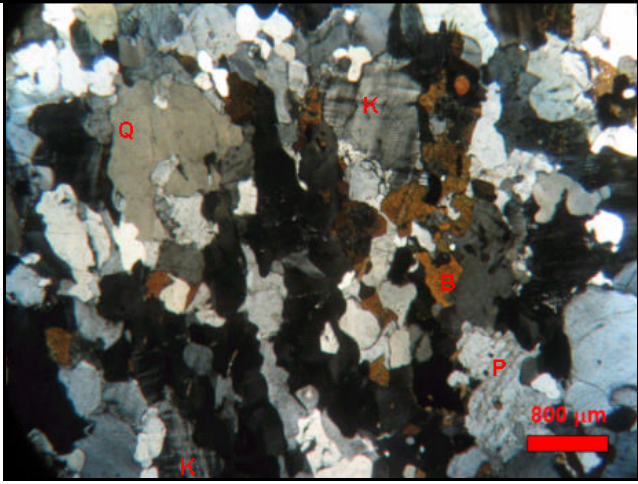
Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 3,04 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,45                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,21                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 25

Análise petrográfica – 12

(Continua)

| Denominação<br>Comercial: Sem denominação   | Procedência:<br>Carmópolis MG  | Amostra:<br>Car_01 |
|---|--|--------------------|
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor verde acinzentada, gnaissificada, com forte orientação denotada pelos minerais máficos.   |  |                    |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |                    |
| <b>Análise Textural:</b> Inequigranular, granolepdoblástica, sendo os contatos em sua maioria do tipo côncavo-convexo.  |  |                    |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnaissificada, com orientação denotada pelos minerais máficos  |  |                    |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Quartzo, Kfeldspato, plagioclásio, biotita e ortopiroxenio.   |  |                    |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> Epidoto, apatita, zircão e opacos   |  |                    |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> bastita, clorita sericita  |  |                    |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O quartzo ocorre em percentual semelhante ao da microclina, em cristais anédricos alongados segundo orientação preferencial da rocha, com extinção ondulante. O Kfeldspato é a microclina e o mineral mais abundante, ocorre em cristais livre de alteração. O plagioclásio antipertítico, as vezes encontra-se sericitizado, As biotitas em cristais subédricos tabulares apresentando pleocroísmo marrom claro a escuro, ora alteradas para clorita, conferindo orientação a rocha. O ortopiroxenio é o hiperstênio, encontra-se via de regra alterado para bastita. Grandes cristais de epidoto (allanita), irradiam fraturas intragranulares, trincando todos os minerais a sua volta. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                    |
|   |  |                    |

**TABELA 25**

Análise petrográfica – 12

(Conclusão)

| <b>Análise Modal (%)</b>                |                   |                             |                                      |                          |
|---|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Quartzo</b>                          | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros:</b>                       |                          |
| 28                                      | 30                | 24                          | Biotita,titanita, zircão e opacos    |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>              |                   |                             | <b>Grau de microfissuramento: 25</b> |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b> | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>           | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 87                                      | -                 | 13                          | 18                                   | 34,14                    |

**TABELA 26**

DeterminaçãoCaracterísticas físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,65 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,27                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,17                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 27

Análise petrográfica – 13

|   |  |                                      |   |  |                          |
|---|--|--------------------------------------|---|--|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Tipo Verde Van Gogh  |  | <b>Procedência:</b><br>Oliveira – MG |   | <b>Amostra:</b><br>RV-01   |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de coloração verde, localmente aczentada com estrutura gnáissica e migmatítica.  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Análise Textural:</b> Granular Hipidiomórfica Inequigranular, granulolepdoblástica, com minerais máficos conferindo orientação à rocha.  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnáissica, migmatítica.  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita titanita  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> Opacos, clorita, sericita, carbonato e quartzo   |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O plagioclásio é o mineral mais abundante, ora alterado para carbonato, epidoto e sericita. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, apresenta extinção ondulante, contatos do tipo côncavo-convexo, sendo comum estruturas mirmequíticas formando ainda simplectitos quartzo-biotita. O K-feldspato é a microclina e ocorre livre de alteração. A biotita é o mineral máfico dominante, ocorre na forma de prismas conferindo orientação a rocha, podendo a mesma estar alterada para clorita. Minerais opacos estão presentes em cristais subédricos. |  |                                      | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |  |                          |
|   |  |                                      |  |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |  |                                      |   |  |                          |
| <b>Quartzo</b>  |  | <b>Kfeldspato</b>                    |   | <b>Plagioclásio</b>  |                          |
| 31,0  |  | 10,5                                 |   | 40   |                          |
|   |  |                                      |   | <b>Outros: 18,5</b><br>Biotita, clorita, opacos, carbonato, sericita |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |  |                                      |   | <b>Grau de microfissuramento: 37,5</b>                               |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   |  | <b>Poligonal</b>                     |   | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>  |                          |
| 83  |  | -                                    |   | 17   |                          |
|   |  |                                      | <b>Índice de coloração</b>  |  | <b>Índice de Quartzo</b> |
|   |  |                                      | 18  |  | 37,80                    |

TABELA 28

Determinação Características Físico Mecânicas

|   |  |
|---|--|
| Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) = 2,66 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,37                        | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,20                            | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

TABELA 29

Análise petrográfica – 14

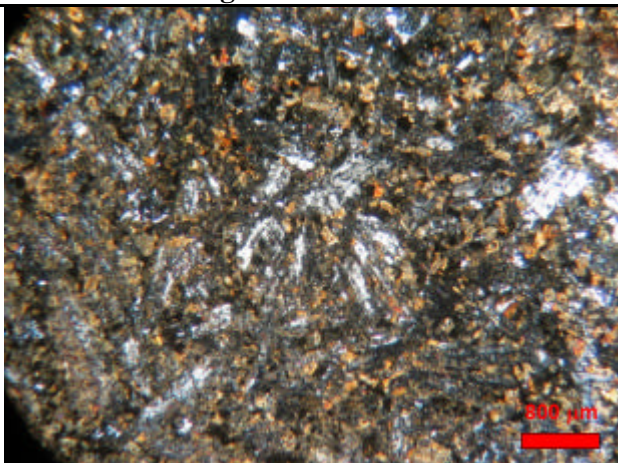
|   |   |                          |  |
|---|---|--------------------------|--|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Sem denominação   | <b>Procedência:</b><br>Oliveira – MG  | <b>Amostra:</b><br>UL_01 |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de coloração verde, homogênea de granulação fina constituída por minerais máficos  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |   |                          |  |
| <b>Análise Textural:</b> equigular  |   |                          |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> isótropa, anastomosada   |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> anfibólio (tremolita-actinolita)  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> talco, epidoto, clorita e opacos   |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> Os anfibólios, prováveis tremolita e/ou actinolitas, são os minerais mais abundantes, ocorrem via de regra alterados, podendo os mesmos estarem envolvidos por pequenos prismas do mesmo mineral e também talco e clorita. A foliação encontra-se anastomosando os grãos reliquiares dos anfibólios. Minerais opacos ocorrem alterados para hidróxido de ferro e zircão. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |  |
|   |  |                          |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |   |                          |  |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b>   | <b>Plagioclásio</b>      | <b>Outros:</b> anfibólio, talco, epidoto |
| -   | -   | -                        |  |
| <b>Obs.:</b> não aplicável devido à granulação da rocha.  |   |                          | <b>Grau de microfissuramento:</b> 25     |

TABELA 30

Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,97 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,44                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,19                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

## 5.2 O Centro Produtor do Nordeste Mineiro, Aspectos da Geologia

No Centro Produtor do Nordeste Mineiro, o Granito Amarelo Medina é definido como um granitóide sintectônico, pertencente ao Cinturão Atlântico, de idade Brasiliana, posicionado na porção nordeste da Faixa Araçuaí. De acordo com Calvo Perez e Maya Sanches (2001), na região de Medina, os corpos constituem extensos maciços heterogêneos, de estrutura orientada, compostos por granada granitóides, granitóides porfiríticos com fenocristais de feldspato potássico, granitóides com cordierita e/ou sillimanita e granitóides ricos em encraves microgranulares meso a melanocráticos. Conforme Pedrosa-Soares et al. (1994), tais rochas constituem em grande parte, anatexitos derivados de complexos gnáissicos que a eles se associam. Inseridos neste contexto geológico, diferentes tipos de rochas ornamentais são exploradas, principalmente as variedades amareladas (FIG. 17).



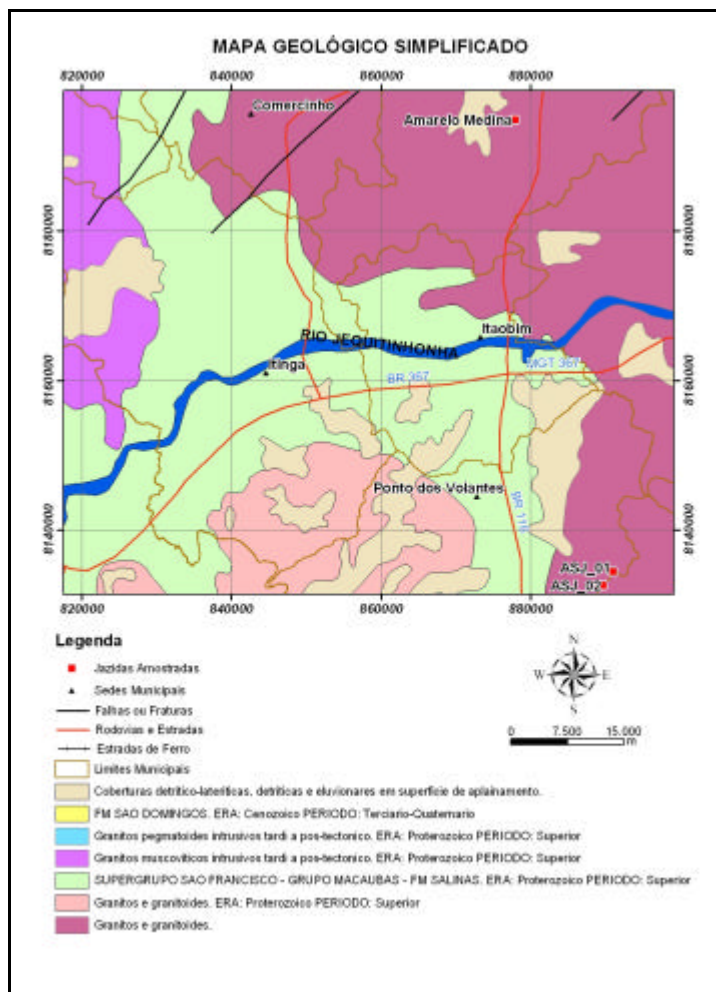


FIGURA 17 - Mapa Geológico da região de Medina.

Fonte: Modificado de Minas Gerais, 2003.

O Charnockito Padre Paraíso pode ser classificado petrograficamente como biotita-hiperstênio-granito. De acordo com o dado do Projeto Leste – CPRM (Brasil,1997), ele apresenta área prospectável de aproximadamente 1430 Km<sup>2</sup>, estando sempre associado ao Granito Caladão, podendo ocorrerem ainda justapostos. Tem aspecto mesoscópico bastante uniforme em toda sua área de ocorrência. É uma rocha de coloração cinza-esverdeada, às vezes cinza-azulada, densamente porfirítica, com matriz escassa mais escura, de granulação variando de média a grossa, constituído por quartzo, feldspato esverdeado, biotita e hiperstênio. Os fenocristais de feldspato esverdeado mais claros que a matriz apresentam seção retangular, comprimento de 1 a 5 cm e são dispostos caoticamente, sendo algumas vezes orientados. Essas rochas possuem relevo mais suave que o Granito Caladão. Os afloramentos adequados para a extração são os lajedos baixos e os afloramentos em matacões posicionados, à meia-encosta.

Os tipos ornamentais selecionados, para o Centro Produtor do Nordeste Mineiro, encontram-se relacionados no QUADRO 4.

#### QUADRO 4

Tipos ornamentais selecionados provenientes do Centro Produtor do Leste Mineiro.

| <b>Amostra</b> | <b>Denominação Comercial</b> | <b>Cor Predominante</b> |
|----------------|------------------------------|-------------------------|
| CA_07          | Charnokito Padre Paraíso     | Verde                   |
| BC_02          | Granito Amarelo Medina       | Amarelo                 |

#### TABELA 31

Análise petrográfica – 15

(Continua)

|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| <b>Denominação Comercial:</b> Charnokito Padre Paraíso   | <b>Procedência:</b> Padre Paraíso - M. G. | <b>Amostra:</b> CA_07 |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor verde, com mega-cristais de K-feldspato conferindo orientação à rocha.   |   |                       |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |   |                       |
| <b>Análise Textural:</b> apresenta textura granular ipidiomórficas com megacristais de kfeldspato, envoltos por matriz de quartzo, plagioclásio, anfibólio e biotita, são comuns estruturas mirmequíticas. |   |                       |
| <b>Análise Estrutural:</b> rocha homogênea   |   |                       |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> ortoclásio, quartzo, plagioclásio, biotita, granada e ortopiroxênio.   |   |                       |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, apatita e opacos   |   |                       |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> serpentina (bastita), carbonato, clorita e óxido de ferro.  |   |                       |

TABELA 31

Análise petrográfica – 15

(Conclusão)

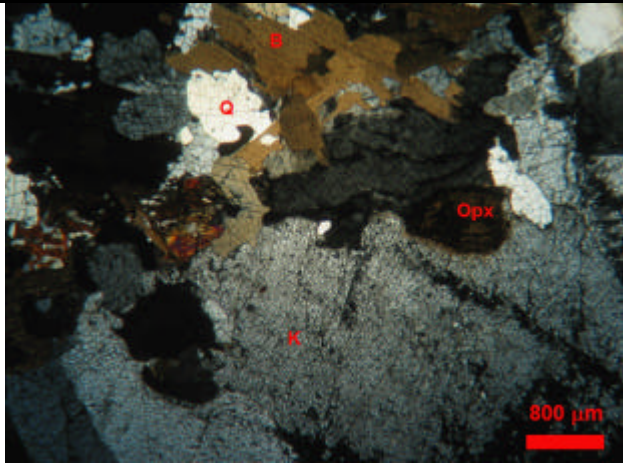
|  |                   |                             |  |                          |
|--|-------------------|-----------------------------|--|--------------------------|
| <b>Descrição Microscópica:</b> o Kfeldspato (ortoclásio) é o mineral predominante, em megacristais subédricos livre de alterações, apresenta fraturas preenchidas por clorita e sericita. O quartzo ocorre em grãos anédricos, apresentando extinção ondulante, ou em grãos arredondados inclusos nos feldspatos, ou em estruturas mirmequíticas. O plagioclásio em grãos anédricos raramente alterados para sericita. Os minerais máficos ocorrem em agregados de granada, biotita, ortopiroxênio, anfibólio e opacos. Biotitas apresentam pleocroísmo marrom claro a escuro, às vezes formando simplectitos com quartzo. São comuns agregados de ortopiroxênio, anfibólio e bastita. |                   |                             | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                          |
|  |                   |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |                             |  |                          |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros: 25</b>  |                          |
| 25,0   | 30,0              | 20                          | Biotita, granada, ortopiroxênio e apatita  |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |                             | <b>Grau de microfissuramento: 87,5</b>   |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>   | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 70   | 5                 | 25                          | 25,0   | 60,97                    |
| <b>Nome da Rocha:</b> Charnockito Padre Paraíso  |                   |                             |  |                          |

TABELA 32

Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,73 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) =  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,77                       | Resistência a Flexão (MPa) =               |
| Absorção d'água (%) = 0,28                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = |

TABELA 33

Análise petrográfica – 16

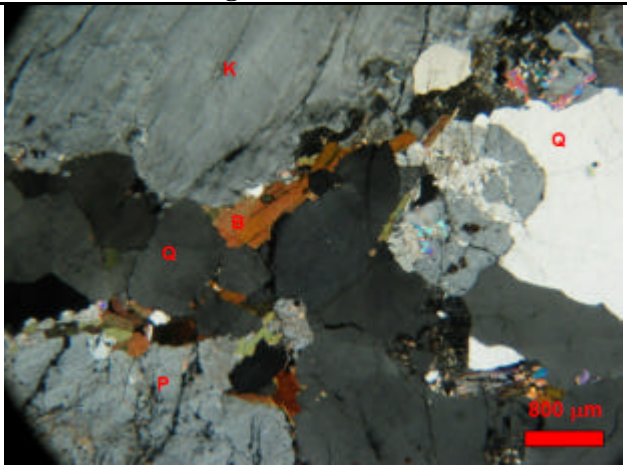
|   |                   |                                  |   |                          |  |
|---|-------------------|----------------------------------|---|--------------------------|--|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Amarelo Medina   |                   | <b>Procedência:</b><br>Medina MG |   | <b>Amostra:</b><br>BC-02 |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor amarelada, homogenia, apresentando orientação dos megacristais (primas) de K-feldspato.   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Análise Textural:</b> Granolepidoblástica, com distribuição das palhetas de mica segundo direção preferencial.   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> isótropa   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato, quartz, plagioclásio e biotita   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão e óxidos   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> hidróxidos de ferro, opacos sericita   |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O K-feldspato (microclina) é o mineral dominante, podendo apresentar inclusões de plagioclásio. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, apresenta extinção ondulante e contornos côncavos convexos. O plagioclásio apresenta bordas de albita, podendo também apresentar fraca sericitização. A biotita é o mineral máfico mais abundante, apresenta preocroísmo em tons do marrom claro ao marrom escuro. |                   |                                  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |  |
|   |                   |                                  |  |                          |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |                   |                                  |   |                          |  |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>              | <b>Outros: 10</b>   |                          |  |
| 33,9  | 50,1              | 6,1                              | Biotita, sericita   |                          |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |                   |                                  | <b>Grau de microfissuramento: 87,5</b>  |                          |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>      | <b>Índice de coloração</b>  | <b>Índice de Quartzo</b> |  |
| <b>80</b>   | -                 | 20                               | 9,9   | 30,13                    |  |
| <b>Nome da Rocha:</b> Granito Amarelo Medina  |                   |                                  |   |                          |  |

TABELA 34

Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,64 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 0,77                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,28                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

### 5.3 O Centro Produtor de Caldas

No Centro Produtor de Caldas, no sudeste de Minas Gerais, as rochas sieníticas constituem os tipos ornamentais em exploração. Denominadas de modo geral de Café Imperial, as rochas da região de Caldas e Santa Rita de Caldas, pertencem ao maciço sienítico da Pedra Branca assim como descrito por Winters e Ebert (1978) citado por Mendes e Evangelista, (2001). A HG. 18 apresenta o mapa geológico da região, indicando a região escolhida para a amostragem (BC\_01).

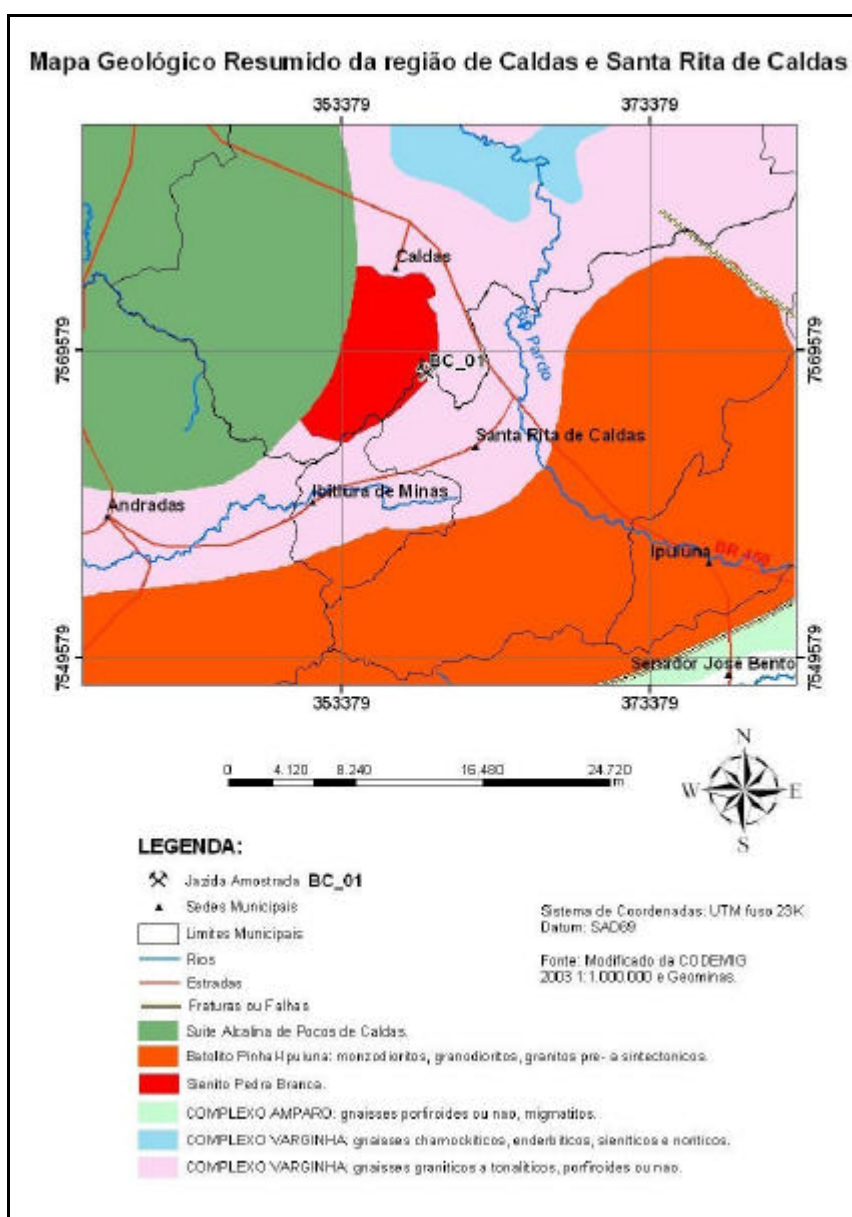


FIGURA 18 - Mapa Geológico Simplificado da região de Caldas.

Fonte: Modificado de Minas Gerais, 2003.

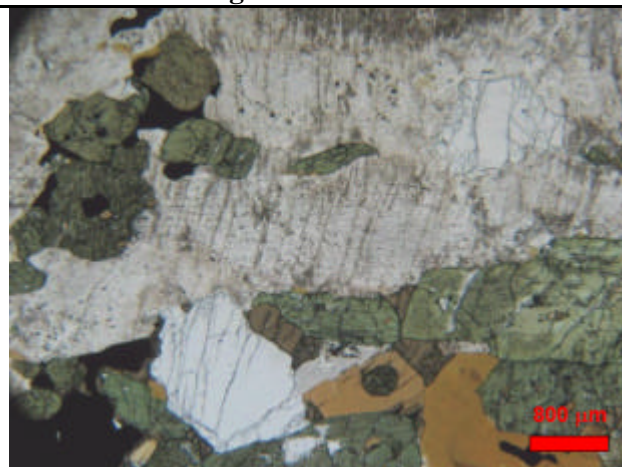
O corpo apresenta variação petrográfica do centro para a borda. No centro ocorrem rochas com pequenos teores em quartzo, sendo os máficos a hornblenda e a augita. As rochas das zonas mais externas do maciço, apresentam aegirinaugita ao lado de biotita.

De acordo com Calvo Perez e Maya Sanchez (2001) os sienitos denominados como Café Imperial e a variedade Marrom Caldas, são explorados em maior número de pedreiras e de valor comercial mais elevado. As chapas polidas exibem uma peculiar coloração marrom devido a presença de diminutas agulhas de ilmenita inclusas nos feldspatos potássicos (ortoclásio), somente visíveis nas seções delgadas.

TABELA 35

## Análise petrográfica – 17

|   |                   |                                   |  |   |  |
|---|-------------------|-----------------------------------|--|---|--|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Café Imperial  |                   | <b>Procedência:</b><br>Caldas M.G |  | <b>Amostra:</b><br>BC_01                |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> rocha de cor marrom escura, granulação média, constituída por feldspatos marrons.  |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Análise Textural:</b> rocha inéquigranular de granulação média a grossa.   |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> Existe uma direção da foliação definida pela orientação dos feldspatos e dos minerais máficos.   |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato e clinopiroxênio  |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> biotita, ilmenita, apatita e quartzo  |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> caulinita e opacos   |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O K-feldspato (ortoclásio) é o mineral dominante, ocorre em ripas de granulação grossa, com ripas de ilmenita segundo as fraturas. O plagioclásio ocorre em pequenos cristais, maclado segundo a lei da albita. Aegirena-augita, é o mineral máfico mais abundante, com pleocroísmo em tons de verde, cristais anédricos a subédricos, podem apresentar inclusões de titanita. A biotita apresenta pleocroísmo de amarelo claro a morrom avermelhado, em palhetas subédricas. Minerais opacos (provavelmente sulfetos), ocorrem associados aos minerais máficos. |                   |                                   |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b> |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |                   |                                   |  |   |  |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b> | <b>Clinopiroxênio</b>             | <b>Outros:</b> 12                              |   |  |
| 3,0   | 71                | 14                                | Biotita, anfíbólio, apatita, quqartzo e opacos |   |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |                   |                                   | <b>Grau de microfissuramento:</b> 37,5         |   |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>       | <b>Índice de coloração</b>                     | <b>Índice de Quartzo</b>                |  |
| 20  | -                 | 80                                | 30   | 37,66                                   |  |
| <b>Nome da rocha:</b> Sienito Café Imperial   |                   |                                   |  |   |  |



**TABELA 36**

Determinação Características físico mecânicas

|  |  |
|--|--|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,78 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = -  |
| Porosidade Aparente (%) = 1,09                       | Resistência a Flexão (MPa) = -               |
| Absorção d'água (%) = 0,39                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = - |

#### 5.4 O Centro Produtor de Dolores de Guanhanes – Aspectos da Geologia

Fernandes (2001) designa como Maciço Granítico de Dolores de Guanhanes o metagranitóide a fluorita que ocorre nas proximidades da cidade homônima, ao longo do Rio Guanhanes, onde seu leito é regionalmente escavado na rocha fresca e estende-se até o córrego do Rochedo. A melhor exposição é, sem dúvida, a pedreira Eminosa, onde a rocha mostra-se fortemente foliada com atitude N60E/60NW.

A autora acima citada, sugere que as idades de 620 Ma (U-Pb em zircões) e 507 Ma (Titanita) indicam que os mesmos teriam sido afetados pela Orogenia Brasileira, responsável pela ganatificação e migmatização das mesmas (FIG. 19).

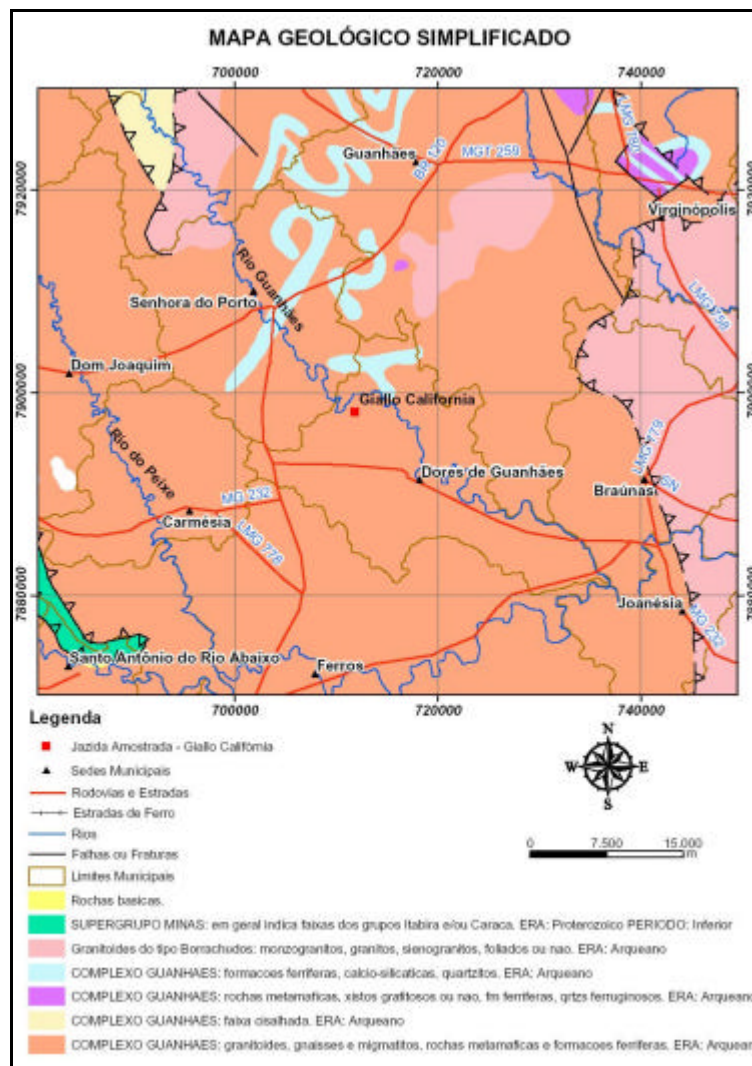


FIGURA 19 - Mapa Geológico Simplificado da região de Dores de Guanhaes

Fonte: Modificado de Minas Gerais, 2003.

Em Guanhaes, os granitos apresentam-se com granulação variando de média a grossa, coloração rosada, com marcada foliação, devido ao arranjo de minerais máficos segundo níveis centimétricos descontínuos. Microscopicamente, revelam-se constituídos de microclina mesopertítica, quartzo, albita e máficos. Acessoriamente, ocorrem zircão, allanita, atitanita, apatita e fluorita, magnetita e ilmenita.

O granito de dores de Guanhaes-MG denominado comercialmente de Giallo Califórnia de Dores de (FIG. 20), foi o tipo pétreo ornamental escolhido, devido ao fato de se tratar de uma variedade ornamental, com comprovado valor e espaço já definido, seja no mercado internacional seja no interno.





FIGURA 20 - Vista da mina recém aberta da variedade Giallo Califórnia

Trata-se de rocha com coloração em parte rósea e em parte amarelada, granulação variando de média a grossa, foliação fina, fortemente penetrativa, marcada por níveis biotíticos descontínuos. Venulações ou mobilizados quartzo feldspáticos paralelos a foliação, rompidos, com restos de dobras e boudins, promovem uma trama que caracteriza o padrão, conferindo à rocha alto valor comercial. Pimenta (2002), entre outros, correlaciona este material com as rochas graníticas da Suíte Borrachudos.

### TABELA 37

Análise petrográfica – 18

(Continua)

|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Giallo Califórnia  | <b>Procedência:</b><br>Dores de Guanhões, MG | <b>Amostra:</b><br>BB_01 |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor amarela localmente rosada, de granulação média a grossa.  |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |  |                          |
| <b>Análise Textural: Inequigranular</b>   |  |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> rocha apresenta arranjo gnáissico, foliação denotada pelos níveis milimétricos de biotita, ocorrem ainda segundo a foliação, porções pegmatíticas. |  |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> microclina pertítica, quartzo, plagioclásio, biotita,   |  |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> apatita, fluorita e zircão  |  |                          |

TABELA 37

Análise petrográfica – 18

(Conclusão)

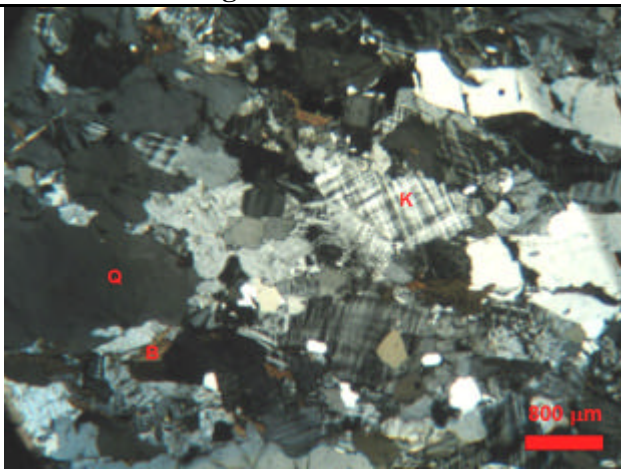
|  |                   |                             |  |                          |
|--|-------------------|-----------------------------|--|--------------------------|
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clorita, albita e óxido de ferro.   |                   |                             |  |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O K-feldspato (microclina pertítica) é o mineral predominante, ocorre em cristais anédricos livres de alteração, mostrando rara borda de albita. O quartzo em grãos anédricos apresenta bordas corroídas e extinção ondulante. O plagioclásio em grãos euédricos encontra-se livres de alterações, mostrando inclusões de quartzo e ocasionalmente fraturas preenchidas por óxido de ferro. Biotita em palhetas conferem orientação à rocha e apresentam pleocroísmo marrom a marrom escuro, pouco alteradas para clorita. São comuns estruturas mirmequíticas. |                   |                             | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>  |                          |
|  |                   |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |                             |  |                          |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros:</b> 6,1   |                          |
| 39,3   | 19,4              | 34,8                        | Biotita, granada, sericita e clorita   |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |                             | <b>Grau de microfissuramento:</b> 62,5   |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>   | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 88   | -                 | 12                          | 6,5  | 22,47                    |
| <b>Nome da rocha:</b> Granito a biotita Giallo Califórnia  |                   |                             |  |                          |

TABELA 38

Determinação Características físico mecânicas

|   |  |
|---|--|
| Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) = 2,63 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 133,82 |
| Porosidade Aparente (%) = 0,73                        | Resistência a Flexão (MPa) = 13,3                |
| Absorção d'água (%) = 0,27                            | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 0,78  |

## 5.5 Rochas Meta-Ultramáficas do Quadrilátero Ferrífero

As rochas meta-ultramáficas da região do Córrego dos Boiadeiros, denominado Corpo Meta-Ultramáfico do Córrego dos Boiadeiros (CCB), são conhecidas desde o início do século por Harder e Chamberlin (1915), tendo sido inicialmente estudadas durante os trabalhos de Mapeamento Geológico do Quadrilátero Ferrífero por Gair (1962). Vários autores admitem sua associação ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas, no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (FIG. 21).

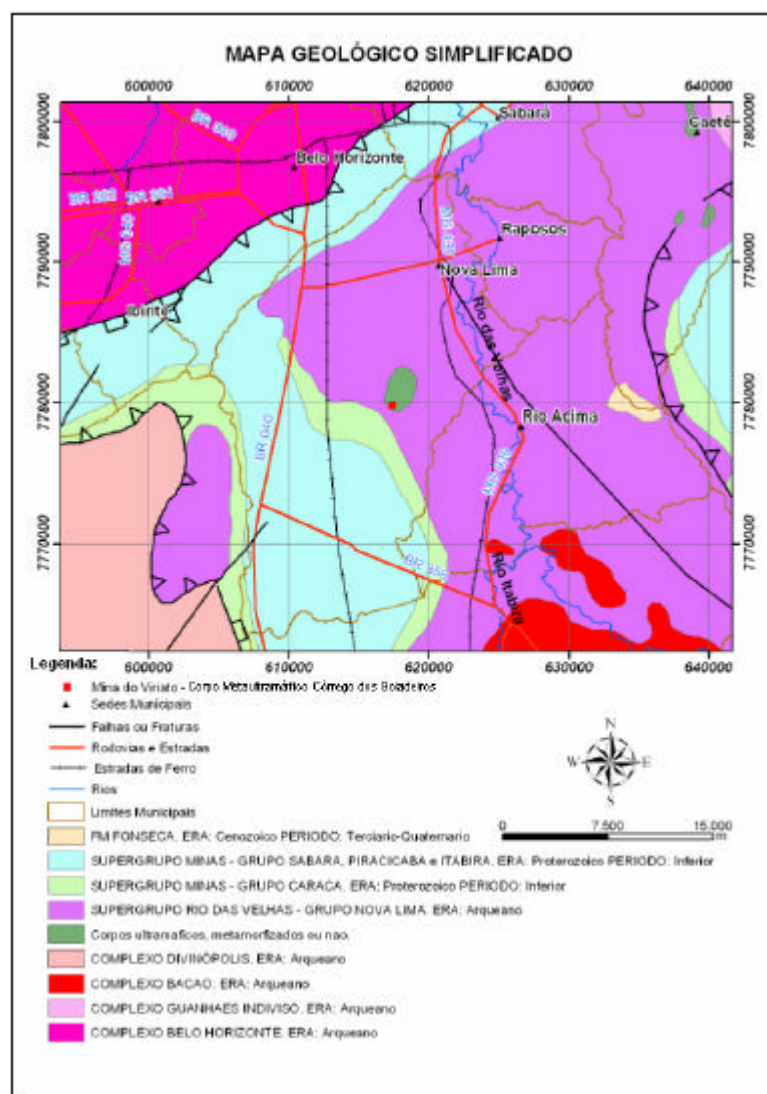


FIGURA 21 - Mapa Geológico e de localização do Corpo Meta-ultramáfico do Córrego dos Boiadeiros.

Fonte: Modificado de Minas Gerais, 2003.

Padilha (1984) considera o CCB como parte da porção inferior do Grupo Nova Lima, enquanto Gair (1962) sugere que os serpentinitos resultariam da alteração de dunitos e peridotitos, enquanto os talco xistos seriam derivados da alteração hidrotermal imposta às rochas meta-ultramáficas ao longo das zonas de cisalhamento (FIG. 22).

Costa (1995), caracteriza as rochas do CCB como olivina cumulatos, olivina-piroxênio cumulatus e piroxênio cumulatos originados a partir de intensas transformações metassomáticas que foram submetidas às rochas ultrabásicas primárias.



FIGURA 22 - Mina Pedras Congonhas, detalhe para matacão de serpentinito

Além do uso ornamental e emprego principalmente para o revestimento e no feitiço de utensílios domésticos, Costa (1995) ressalta a potencialidade econômica do CCB, destacando a utilização da rocha ultramáfica, em função do alto teor de Mg, como revestimento de altos fornos e nos processos de pelotização.

Como exemplos de tipos ornamentais com valor ornamental provenientes do CCB, foram selecionadas duas amostras: um serpentinito e um esteatito.

TABELA 39

Análise petrográfica – 19

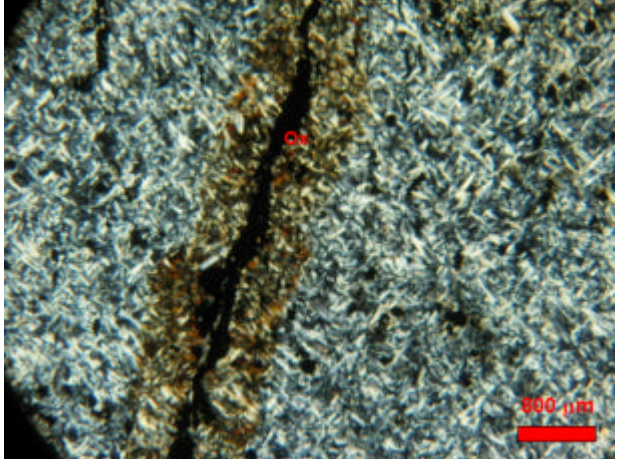
|   |   |                                      |
|---|---|--------------------------------------|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Serpentinito  | <b>Procedência:</b><br>Mina do Viriato, Rio Acima MG                                | <b>Amostra:</b><br>SE                |
| <b>Descrição Macroscópica.</b> Rocha de cor verde, maciça, de granulação muito fina, apresenta fraturas de cor amarelada devido a presença de (óxidos).   |   |                                      |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |   |                                      |
| <b>Análise Textural:</b> A rocha apresenta arranjos entre cristais de serpentina de granulação muito fina.  |   |                                      |
| <b>Análise Estrutural:</b> A rocha apresenta-se levemente estruturada, definida pela presença de linhas de coloração amarelo alaranjado.  |   |                                      |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Serpentina  |   |                                      |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> não foram identificados   |   |                                      |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> serpentina, óxidos e limonita  |   |                                      |
| <b>Descrição Microscópica:</b> A serpentina é o mineral mais abundante, apresenta granulação fina ocorre em substituição aos cristais de olivina, apresentam birrefringência baixa. Estão presentes ainda, finas vênulas preenchidas também por serpentina. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                                      |
|   |  |                                      |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |   |                                      |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b>   | <b>Plagioclásio</b>                  |
| -   | -   | -                                    |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |   | <b>Grau de microfissuramento: 25</b> |
| <b>Nome da rocha:</b> Serpentinito  |   |                                      |

TABELA 40

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,68 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 99,62 |
| Porosidade Aparente (%) = 1,20                       | Resistência a Flexão (MPa) = 12,00              |
| Absorção d'água (%) = 0,45                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 1,14 |

TABELA 41

Análise petrográfica – 20

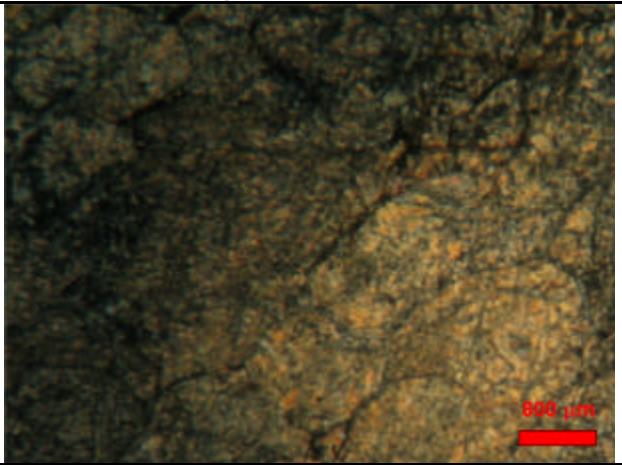
|   |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Esteatito  | <b>Procedência:</b><br>Mina do Viriato – Rio Acima                                  | <b>Amostra:</b><br>ES |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de granulação fina, equigranular e de aspecto maciço. Não existe orientação preferencial.  |   |                       |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |   |                       |
| <b>Análise Textural:</b> Restos de textura ígnea do tipo granular hipidiomórfica, com pseudomorfos orientados segundo direção determinada.  |   |                       |
| <b>Análise Estrutural:</b> a rocha não apresenta estruturação   |   |                       |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> Serpentina e talco  |   |                       |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> -   |   |                       |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> Serpentina, talco, clorita, óxidos e limonita  |   |                       |
| <b>Descrição Microscópica:</b> A serpentina é o mineral mais abundante, ocorre substituindo os cristais de olivina e piroxênio. O talco encontra-se associado a olivina substituindo também as minerais primários. Serpentina e talco ocorrem como produto da substituição das olivinas e piroxênios, ocorrem ainda processos de liberação de óxidos e geração de cloritas. | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                       |
|   |  |                       |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |   |                       |
| <b>Talco</b><br>> 80%   | <b>Outros:</b> : não aplicável devido à granulação da rocha                         |                       |
|   | <b>Grau de microfissuramento:</b> 12,5  |                       |
| <b>Nome da Rocha:</b> Esteatito   |   |                       |

TABELA 42

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,77 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 70,86 |
| Porosidade Aparente (%) = 0,91                       | Resistência a Flexão (MPa) = 23,77              |
| Absorção d'água (%) = 0,33                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = 4,08 |

## 5.6 O Centro Produtor da Região da Verbânia Cusio Ossola (VCO), Província de Piemonte, Itália

Os Alpes originaram-se do processo de subducção da crosta oceânica do Mar de Tetis, seguida pela colisão continental entre a África e a Europa, entre os períodos Oligoceno e Mioceno. Essa cadeia de montanhas contém sequências de rochas metassedimentares e da crosta continental, provenientes tanto da margem européia quanto da africana. Durante a fase da colisão, ocorreram falhamentos que propiciaram o cavalgamento de unidades provenientes da crosta e de rochas do fácies amfibolito, sofrendo as mesmas processos de deformação, ocasionando grandes napes que permitiram a colocação lado-a-lado de terrenos de diferentes origens petrogenéticas.

As áreas destinadas à mineração de rochas ornamentais, na região da Verbania Cusio Ossola, podem ser divididas em três segmentos conforme suas características geológicas.

Na região ao sul, entre as cidades de Verbânia, Cusio e extensão sudeste da região administrativa de Ossola, ocorrem rochas plutônicas constituídas por granitos calci-alcalinos isotrópicos de estrutura granular, que em conjunto com outros corpos graníticos, formam um batólito de idade Permiana (275-283MA). Como representantes desta região foram escolhidos os tipos ornamentais Rosa Baveno e Bianco Montofano.

Ao norte, lentes de margas calcíticas, de espessura limitada (8 a 30m), são mineradas por toda extensão do vale. Estas rochas foram formadas a partir do metamorfismo dos metassedimentos de idade paleozóica, inseridos juntos aos paragnáisses do Complexo Kinzigítico de Ivrea-Verbano. Entre as regiões do Val d'Ossola e Crevoladossola ocorrem ortognáisses com amfibolitos. Como representantes desta região foi escolhido o tipo ornamental denominado Beola Grigia.



FIGURA 23 - Exemplos de áreas de extração de Rochas Ornamentais na Região da Verbânia, Itália  
Nota: (A) Jazida da variedade Serizzo Formazza, (B) Jazida variedade Rosa Baveno.

O extremo norte da área é caracterizado pela presença de rochas do Permiano Inferior sendo constituído por ortognáisse-biotítico com agrupamentos/segregações anfibolíticas, em uma megaestrutura chamada de *Estrato de Antigorio*. Essa estrutura apresenta composição granodiorítica-granítica, com espessura de 1200 a 1300m. Margas e dolomitos inseridos nos estratos ortognáissicos do Antigorio ocorrem como resultado do metamorfismo dos sedimentos carbonáticos de idade mesozóica. Como representante desta região foi escolhido o tipo ornamental Serizzo Formasa – FIG. 23(A). Os tipos pétreos selecionados encontram-se relacionados no QUADRO 5.

#### QUADRO 5

Tipos ornamentais selecionados provenientes da Região da Verbânia, Itália

| Amostra | Denominação Comercial | Cor Predominante |
|---------|-----------------------|------------------|
| VCO01   | Serizzo Formazza      | Cinza            |
| VCO04   | Bianco Montofano      | Branco           |
| VCO05   | Beola Grigia          | Cinza            |
| VCO09   | Rosa Baveno           | Vermelho-Rosa    |



TABELA 43

Análise petrográfica – 21

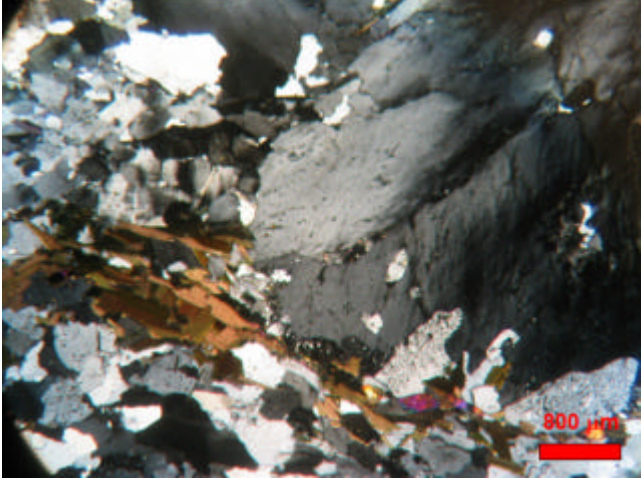
|  |                   |   |   |                          |  |
|--|-------------------|---|---|--------------------------|--|
| <b>Denominação Comercial:</b> Serizzo Formazza   |                   | <b>Procedência:</b> Região da Verbânia – Itália (Cava kighel) |   | <b>Amostra:</b> V1       |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de coloração cinza, apresentando estrutura gnaissica denotada pelos minerais máficos.   |                   |   |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |                   |   |   |                          |  |
| <b>Análise Textural:</b> Inequigranular, com predomínio dos contatos côncavos-convexos.  |                   |   |   |                          |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> Gnaissificada.  |                   |   |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita   |                   |   |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> Titanita e zircão  |                   |   |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> Epidoto provável zoisita, titanita  |                   |   |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O K-feldspato (microclina) é o mineral dominante, ocorre na forma subédrica, inequigranular, ocasionalmente com fraturas preenchidas por albita. O quartzo é o segundo mineral mais abundante, anédrico apresenta extinção ondulante e contornos interlobados. O plagioclásio ocorre também na forma subédrica, estando alterado para epidoto e sericita. A biotita é o mineral máfico mais abundante, apresenta pleocroísmo do marrom claro ao marrom mais escuro formam agregados com o epidoto, apresentam-se em cristais subédricos, na forma de palhetas, conferindo orientação à rocha. |                   |   | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |  |
|  |                   |   |  |                          |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |                   |   |   |                          |  |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>   | <b>Outros: 11</b>   |                          |  |
| 45   | 35                | 9   | Epidoto, biotita, clorita, sericita   |                          |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |                   |   | <b>Grau de microfissuramento: 37,5</b>  |                          |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                                   | <b>Índice de coloração</b>  | <b>Índice de Quartzo</b> |  |
| 50   | 25                | 30  | 45  | 50,56                    |  |

TABELA 44

Determinação Características físico mecânicas

|   |  |
|---|--|
| Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) = 2,63 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 86,0 |
| Porosidade Aparente (%) = -                           | Resistência a Flexão (MPa) = 17,1              |
| Absorção d'água (%) = 0,41                            | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = -   |

TABELA 45

Análise petrográfica – 22

|  |   |                             |   |                          |
|--|---|-----------------------------|---|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br><b>Comercial:</b> Bianco Montofano   | <b>Procedência:</b><br>Região da Verbânia – Itália (cavadona) |                             | <b>Amostra:</b><br>V4   |                          |
| <b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor branca, gnaiss-migmatítica apresentando estrutura orientada pelos minerais máficos.  |   |                             |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>   |   |                             |   |                          |
| <b>Análise Textural:</b> Equigranular, com predomínio dos contatos côncavos-convexos e retos.  |   |                             |   |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> isótropa, (rocha homogênea)   |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita   |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> zircão, opacos, titanita   |   |                             |   |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> clorita, epidoto  |   |                             |   |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b><br>O K-feldspato perítico (microclina) é o mineral dominante, em cristais subédricos pode apresentar ainda lamelas de albita. O plagioclásio, apresenta-se em cristais euédrico-subédricos, ora zonados, apresentam-se alterados para epidoto e sericita. O quartzo em cristais anédricos apresenta e granulação variada sempre com extinção ondulante. As biotitas correm em cristais subédricos prismáticos, muitas na cor vermelha (podendo indicar alto grau metamórfico), formam agregados com clorita, opacos e epidoto, inclusões de titanita apresentam halos de alteração com pleocroísmo. |   |                             | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                          |
|  |   |                             |  |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>   |   |                             |   |                          |
| <b>Quartzo</b>   | <b>Kfeldspato</b>   | <b>Plagioclásio</b>         | <b>Outros: 18</b>   |                          |
| 45   | 17  | 20                          | <b>Biotita, titanita, zircão</b>  |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>   |   |                             | <b>Grau de microfissuramento: 87,5</b>  |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>  | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b> | <b>Índice de coloração</b>  | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 45   | 20  | 35                          | 45  | 54,87                    |

TABELA 46

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,63 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 147 |
| Porosidade Aparente (%) = -                          | Resistência a Flexão (MPa) = 14,5             |
| Absorção d'água (%) = 0,31                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = -  |

TABELA 47

Análise petrográfica – 23

|   |                  |  |   |                                      |                          |
|---|------------------|--|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Beola Grigia   |                  | <b>Procedência:</b><br>Região da Verbânia – Itália |   | <b>Amostra:</b><br>V5                |                          |
| <b>Descrição Macroscópica.</b> Rocha de coloração cinza, gnaissificada com estrutura denotada pelos minerais máficos.   |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Análise Textural:</b> granolepdoblástica, inequigranular, palhetas de biotita conferem orientação à rocha.   |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Análise Estrutural:</b> gnáissificada e milonítica   |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> quartzo, K-feldspato, e biotita e moscovita   |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> apatita e zircão  |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> opacos   |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Descrição Microscópica:</b> O quartzo é o mineral mais abundante, apresenta-se em cristais alongados dispostos segundo orientação preferencial da lâmina, com extinção ondulante, apresenta contornos predominantemente do tipo côncavo-convexo. O K-feldspato é a microclina, apresenta macla característica também dispostos em grãos alongados em conformidade com a orientação da rocha. O plagioclásio ocorre de forma restrita, apresentando maclas segundo a lei da albita. Cristais de epidoto (prováveis zoisitas ou clinozoisitas), ocorrem na forma euédrica, sempre associados aos plagioclásios, apresentam com cor de interferência alta e muitas vezes zonados. |                  |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>   |                                      |                          |
|   |                  |  |  |                                      |                          |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |                  |  |   |                                      |                          |
| <b>Quartzo</b>  |                  | <b>Kfeldspato</b>                                  | <b>Plagioclásio</b>   | <b>Outros: 16</b>                    |                          |
| 42  |                  | 28   | 14  | Biotita                              |                          |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |                  |  |   | <b>Grau de microfissuramento: 50</b> |                          |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   | <b>Poligonal</b> | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                        | <b>Índice de coloração</b>  |                                      | <b>Índice de Quartzo</b> |
| 40  | -                | 60   | 53  |                                      | 63,9                     |

TABELA 48

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,67 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 185 |
| Porosidade Aparente (%) = -                          | Resistência a Flexão (MPa) = 19,9             |
| Absorção d'água (%) = 0,4                            | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = -  |

TABELA 49

Análise petrográfica – 24

|   |                   |  |   |                          |  |
|---|-------------------|--|---|--------------------------|--|
| <b>Denominação</b><br>Comercial: Rosa Baveno  |                   | <b>Procedência:</b><br>Região da Verbânia – Itália |   | <b>Amostra:</b><br>V9    |  |
| <b>Descrição Macroscópica:</b>  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b>  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Análise Textural:</b> Granular hipidiomorfica, inequigranular com arranjo poligonal  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Análise Estrutural:</b> não apresenta estrutura definida   |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Essencial:</b> k-feldspato, Plagioclásio, Biotita,   |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Acessória:</b> titanita, opacos e zircão   |                   |  |   |                          |  |
| <b>Mineralogia Secundária:</b> opacos, clorita  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Descrição Microscópica:</b><br>O k-feldspato é o mineral mais abundante, apresenta pertitas via de regra alteradas para sericita, podendo apresentar lamelas de albita. O plagioclásio ocorre em cristais subédricos, apresentando maclas dispostas segundo a lei da albita, muitas vezes alterado para sericita. As biotitas são os minerais máficos predominantes, apresentam precroísmo do marrom ao marrom escuro, ocorrem também alteradas para clorita |                   |  | <b>Fotomicrografia – aumento de 25X</b>                 |                          |  |
| <b>Análise Modal (%)</b>  |                   |  |   |                          |  |
| <b>Quartzo</b>  | <b>Kfeldspato</b> | <b>Plagioclásio</b>                                | <b>Outros: 20</b>                                       |                          |  |
| 40  | 23                | 17   | Biotita, anfibólio, ortopiroxênio, carbonato e sericita |                          |  |
| <b>Tipo de Contato (%)</b>  |                   |  | <b>Grau de microfissuramento: 62,5</b>                  |                          |  |
| <b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>   | <b>Poligonal</b>  | <b>Serrilhado e/ou Reto</b>                        | <b>Índice de coloração</b>                              | <b>Índice de Quartzo</b> |  |
| 35  | 25                | 40   | 43  | 50,58                    |  |

TABELA 50

Determinação Características físico mecânicas

|  |   |
|--|---|
| Massa Específica Aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) = 2,60 | Resistência a Compressão Uniaxial (MPa) = 162 |
| Porosidade Aparente (%) = -                          | Resistência a Flexão (MPa) = 11,7             |
| Absorção d'água (%) = 0,58                           | Resistência ao Desgaste por Abrasão (mm) = -  |

## 6 O USO DE TÉCNICAS DE PDI PARA A CLASSIFICAÇÃO DE CHAPAS DE VARIEDADES ORNAMENTAIS

O Setor das Rochas Ornamentais enfrenta hoje forte concorrência dos chamados materiais artificiais. Apesar de ser impossível de se garantir a homogeneidade total para a maior parte das rochas ornamentais, como o que ocorre para os produtos cerâmicos, isso não significa que estes materiais não tenham qualidade.

Como as Rochas Ornamentais são produtos naturais, uma homogeneidade de 100% não pode ser alcançada. Por outro lado, os produtos pétreos são inigualáveis por se tratarem de peças únicas, dessa forma não é possível estabelecer uma comparação justa entre os materiais artificiais e os naturais.

Levando em conta estas considerações, uma classificação das rochas ornamentais se justifica para uma melhor aplicação dos materiais pétreos, fazendo frente à concorrência imposta pelos produtos cerâmicos.

Existe uma tendência mundial, motivada pela competição entre os mercados e produtores, que busca a qualificação (também através da classificação) das rochas ornamentais, visando agregação de valor a estes materiais acabados. Outro importante aspecto que favorece o desenvolvimento das técnicas de classificação de chapas polidas é o fato de algumas normas européias serem ainda mais exigentes: determinam que todos os produtos acabados devam trazer consigo informações sobre a aparência visual, cor, presença de veios, textura dentre outros. Este aspecto faz com que apenas a tradicional inspeção superficial de uma amostra selecionada como de referência não seja suficiente para garantir todos os parâmetros de um determinado lote, ou quem sabe até (em raros casos) de toda uma jazida.

### 6.1 Técnicas de Classificação Estética

As técnicas de classificação estética foram aplicadas por Bruno et al. (1997), Muge et al. (1997), Chica-Olmo et al. (1998), Maurício et al. (2000), Antonazzo et al. (2003). Muitas ferramentas e técnicas podem ser usadas: sensores ópticos e câmeras para capturar e digitalizar imagens das amostras das chapas polidas, bem como *software* e *hardware* para obtenção de parâmetros estéticos, ou seja: medidas formas e distribuição das orientações dos

grãos. São também frequentemente usadas abordagens metodológicas envolvendo desde a morfologia matemática até a geo-estatística.

Pesquisadores da Universidade de Bologna, através do Dicma – Departamento de Química e Engenharia Ambiental, desenvolvem importantes pesquisas nesta linha, seja pela tradição italiana no setor das rochas ornamentais, seja pelo avanço que as tecnologias podem proporcionar aos consumidores e produtores/empreendedores, principalmente no que diz respeito ao aproveitamento e adequada aplicação dos materiais pétreos. Um dos resultados alcançados foi o desenvolvimento do programa *Stone Analise*”, que utiliza funções estatísticas, com base na granulometria e nas frequências das distribuições dos valores dos pixels para os canais (RGB), para os elementos analisados. Sugere-se aqui um processamento semelhante, no qual as imagens das chapas (em número de 20), são capturadas por *scanner* e enviadas para programas específicos. Nestes, extraem-se as informações sobre os parâmetros estéticos e mineralógicos, os quais servirão também para o estabelecimento de correlações entre as propriedades físicas-mecânicas. Propõe-se além do uso do *Stone Analiser* também o Quantikov, visto que este apresenta uma vasta gama de ferramentas, ampliando opções de análise das imagens, conforme demonstrado na FIG. 24.

O sistema Quantikov de análise microestrutural é resultado da tese de doutorado (1996), do Prof. Dr. Lúcio Martins Pinto – físico nuclear, pesquisador do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). O programa foi também desenvolvido como alternativa para a determinação da porosidade no combustível nuclear. Implementado no ambiente Windows™, o programa incorpora suas ferramentas e facilidades, incluindo os módulos de Processamento Digital de Imagens, quantificação de parâmetros geométricos, morfologia matemática e geração automática de gráficos e tabelas.

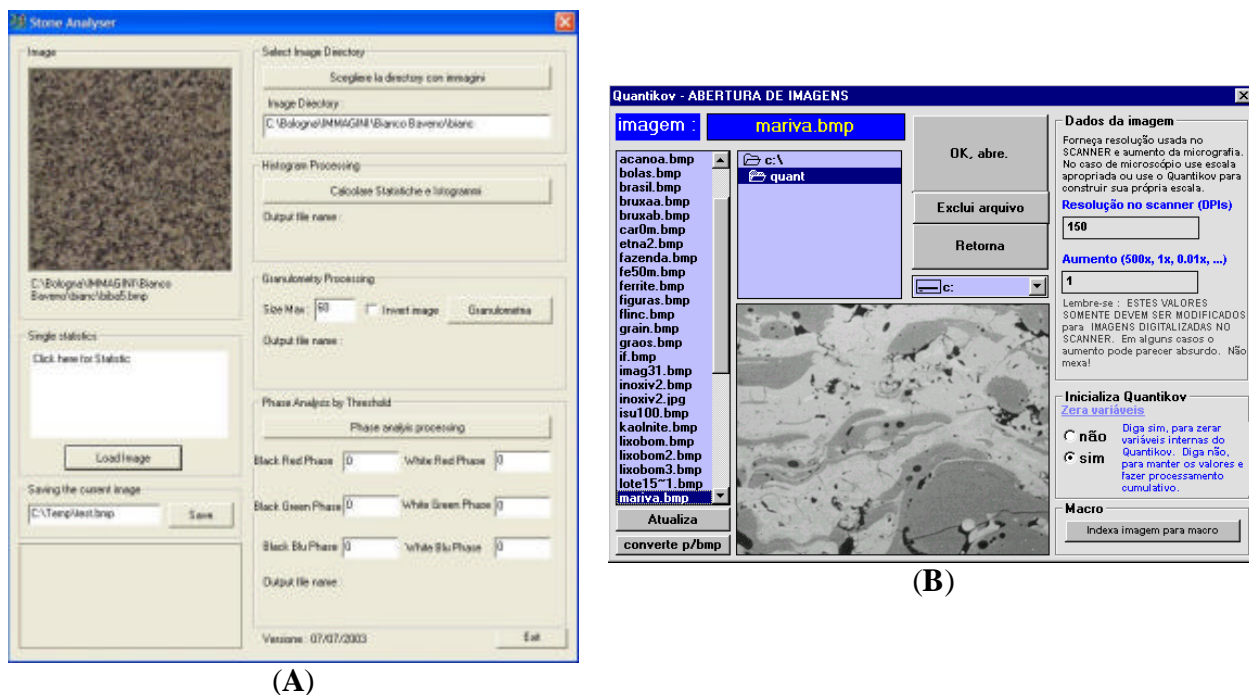


FIGURA 24 - Tela de entrada dos programas utilizados para classificação das chapas

Nota: (A) – *Stone Analyser*, (B) – *Quantikov*.

## 6.2 Materiais Analisados

Para testar a validade da metodologia proposta, foram selecionados materiais de lavras localizadas no Estado de Minas Gerais e disponíveis no mercado para a comercialização há algum tempo. Deste conjunto, foram selecionados três tipos identificados comercialmente como:

- 1- Violeta Candeias - Candeias MG;
- 2- Verde São Francisco – São Francisco de Paula;
- 3- Café Imperial - Caldas MG.

Foram obtidas vinte chapas de cada tipo, com dimensões, 21 x 21 Cm.

### 6.3 Aquisição das Imagens

Para a aquisição das imagens foi utilizada metodologia desenvolvida por Antonazzo, et al. (2003). As chapas foram capturadas por *scanner* com uma resolução de 150 DPI (pontos por polegada) nos três canais RGB (vermelho, verde e azul).

Durante o processo de aquisição das imagens através do *scanner*, foi colocada um plástico incolor, com o objetivo de atenuar os problemas inerentes à fragilidade do aparelho, evitando assim, o riscar do vidro, dano irreversível. Procedeu-se à limpeza para a secagem das chapas, a fim de colocar as amostras sobre a película de plástico.

As imagens digitais adquiridas foram classificadas com aplicação da estatística básica para o estudo da granulometria e do histograma em tons de cinza. Para a construção dos histogramas das imagens optou-se pelo programa Quantikov e o Stone Analyzer para obtenção de parâmetros estatísticos (média e variância) relativos a granulometria da rocha para os canais RGB.

### 6.4 Histograma de uma Imagem

De acordo com Pinto (1996), o histograma de uma imagem digital pode ser interpretado como a distribuição da probabilidade de ocorrência dos níveis de cinza. Nos sistemas de 8 bits as imagens digitais podem assumir valores discretos que vão de 0 a 255, ou seja 256 tons distintos de cinza. Por convenção, durante a construção do histograma, coloca-se no eixo das ordenadas a frequência da ocorrência de cada nível de cinza e no eixo das abscissas ficam os níveis de cinza possíveis de serem encontrados. Algumas características importantes dos histogramas merecem serem ressaltadas:

1 – O histograma da imagem fornece apenas informação sobre a frequência de ocorrência dos níveis de cinza, mas nenhuma informação quanto à localização do pixel na imagem;

2 – O histograma para uma imagem específica é único, entretanto a imagem para um dado histograma não é única. Portanto histogramas não podem ser interpretados como assinaturas das imagens;

3 – O histograma da imagem não pode ser afetado por rotações nas imagens.



Uma forma de se separar diferentes tipos pétreos e suas respectivas chapas polidas   a distribui o das cores, dada como referência pelo sistema RGB ou pelo sistema IHS (*Intensity, Hue e Saturation*). Em ambos os casos, o valor disponibilizado (pelos sistemas de 8 bits) para cada *pixel* varia de 0 a 255 em cada canal.

As constru es de histogramas que representam uma variável definida por um conjunto de *pixels* resultam em uma curva de distribui o específica para cada tipo pétreo. Conforme Antonazzo et al. (2003), o valor de 60 *pixels* foi definido como o máximo para o conjunto das formas (grãos segmentados) durante as análises estatísticas das chapas, através do programa *Stone Analyser*. Um simples histograma referente aos canais/cores (vermelho-verde-azul) pode ser revertido em um importante parâmetro comparativo, sobre as características visíveis de uma rocha/chapa, (FIG. 25).

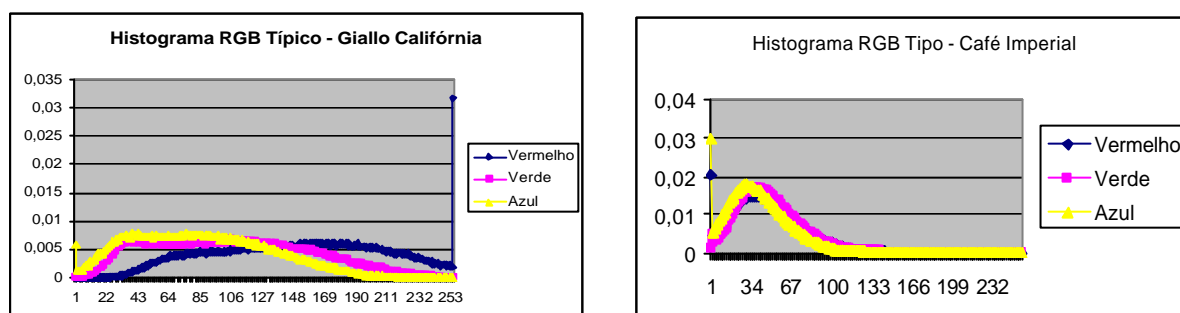


FIGURA 25 - Histogramas (da freq ncia pelo nível de cinza), nos canais RGB, para as chapas do, Giallo Calif nia e Café Imperial, respectivamente.

No programa Quantikov   possível extrair essa informa o de maneira muito simples: através da separa o das fases no histograma da imagem, estabelecendo-se os intervalos de 0 a 85 para o preto, 86 a 170 para o cinza e 171 a 255 para o branco (Fig. 27) e contando a porcentagem dos *pixels* brancos, cinzas e pretos.

O histograma da imagem pode ser utilizado como ferramenta para a defini o e para a separa o de fases conforme a FIG. 26.

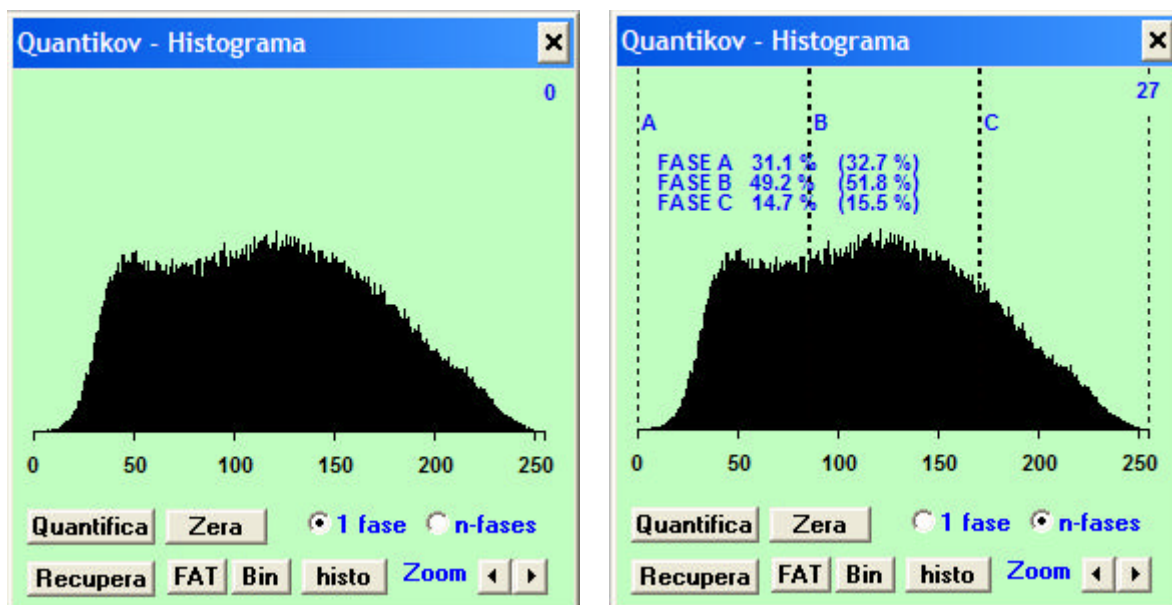


FIGURA 26 - Histograma simples e histograma fatiado, respectivamente – Imagem da Chapa Giallo Califórnia em tons de cinza.

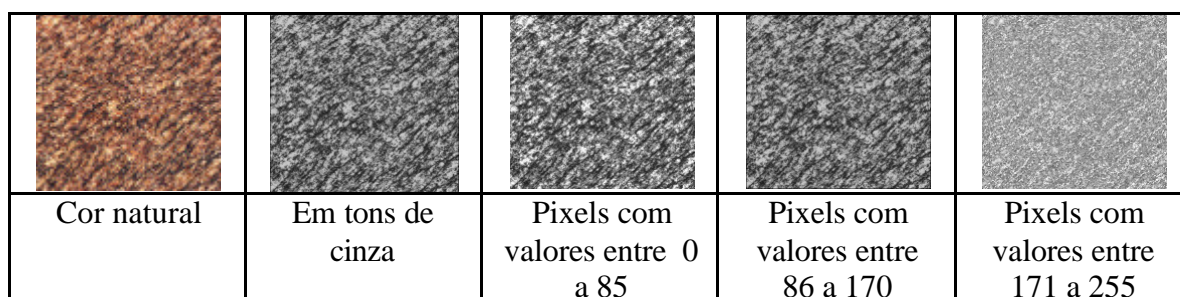


FIGURA 27 - Representação das chapas – Giallo Califórnia, conforme os intervalos para os níveis de cinza propostos.

## 6.5 Diagrama Ternário

A partir da classificação das distribuições dos pixels nos três intervalos propostos, é possível construir uma representação das informações relacionadas aos tons de cinza, também por diagrama ternário, do tipo preto-cinza-branco (PCB). Nesse diagrama, as extremidades dos vértices dos triângulos representam 100% da cor, conforme demonstrado na FIG. 28.

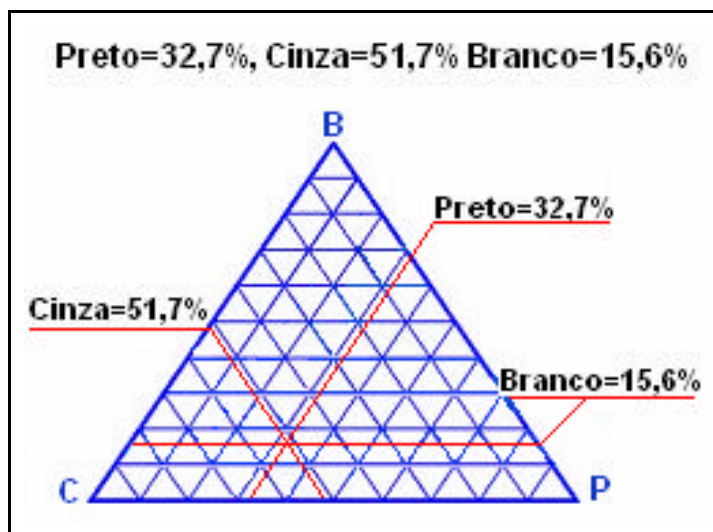
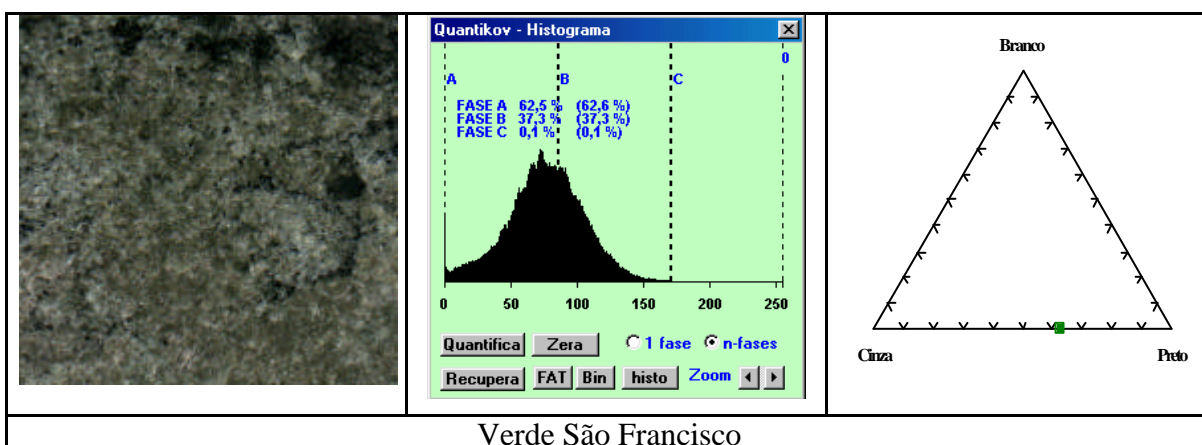
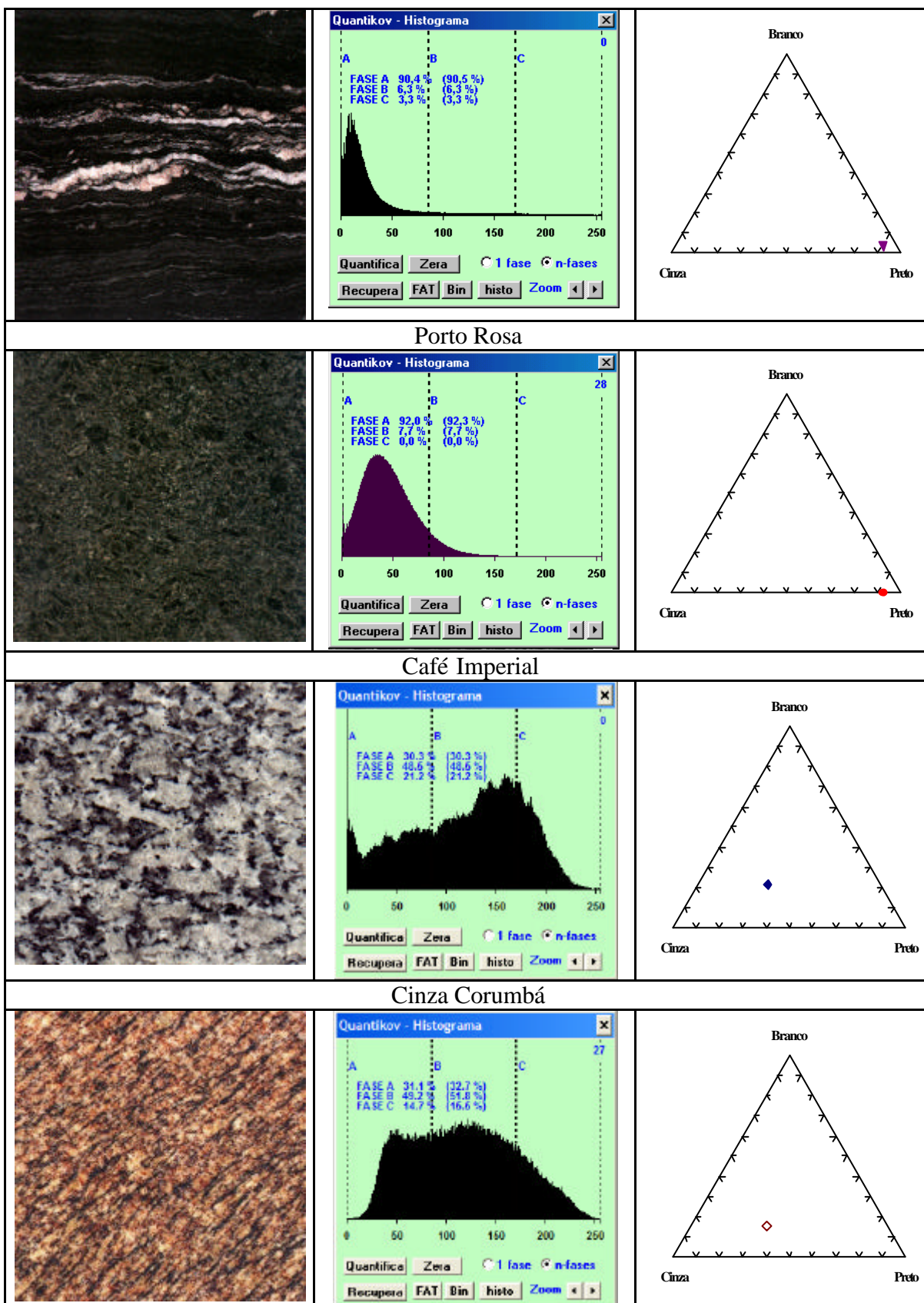


FIGURA 28 - Digrama ternário (ou de três-fases) – PCB, com representação de imagem em tons de cinza para a variedade comercialmente denominada de Rosa Raíssa.

Para melhor exemplificar as possíveis representações das classificações das chapas obtidas através da divisão do histograma das imagens, são apresentadas a seguir, uma série de exemplos de rochas ornamentais classificadas conforme esse método. Essas rochas, encontram-se representadas a seguir, na FIG. 29, conforme a seqüência: chapa capturada por *scanner*, histograma da imagem e diagrama ternário, respectivamente. Para a construção dos diagramas ternários foi usado o programa Minpet para Windows, versão 2002.





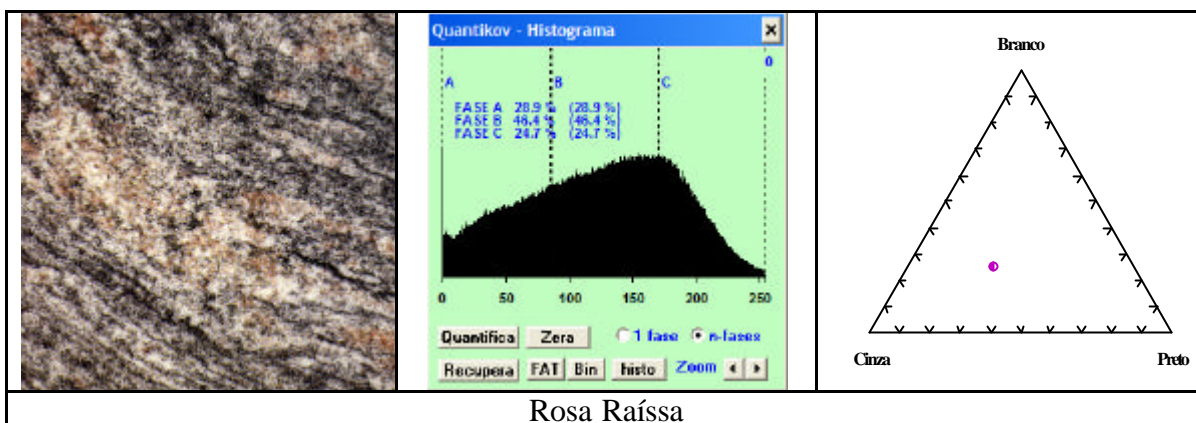


FIGURA 29 - Representações das chapas, dos histogramas das imagens e dos diagramas ternários, para as variedades: Verde São Francisco, Porto Rosa, Café Imperial, Cinza Corumbá, Giallo Califórnia e Rosa Raíssa.

A construção do diagrama ternário por si só, não serve para distinguir um tipo pétreo do outro. Para os três últimos exemplos apresentados o Cinza Corumbá, o Giallo Califórnia e o Rosa Raíssa, verificam-se similaridade entre as projeções, conforme seus respectivos diagramas ternários. A seguir, na FIG. 30, são apresentadas imagens das chapas, os histogramas, correspondentes aos três conjuntos de 20 chapas das variedades Café Imperial, Violeta Candeias e Nero Porto Rosa. Na seqüência, é apresentada a FIG. 31, referentes aos diagramas ternários para os três conjuntos de chapas das variedades selecionadas.



FIGURA 30: Representações das chapas e dos histogramas a partir de suas imagens digitais para as variedades: Viola Candeias, Nero Porto Rosa e Café Imperial, respectivamente.

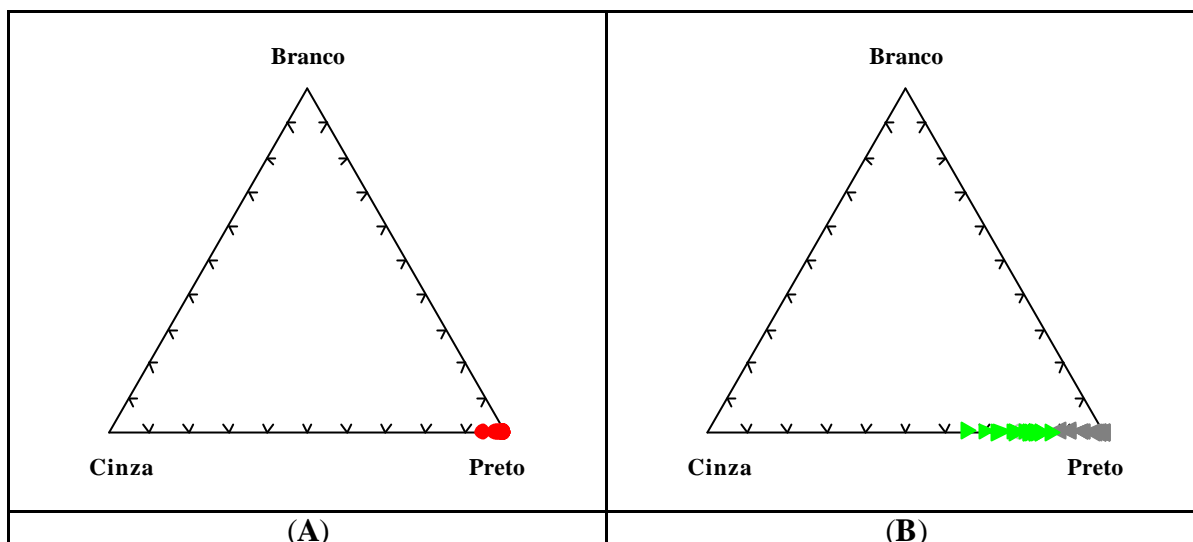


FIGURA 31 - Diagramas ternários branco-cinza-preto

Nota: para as variedades Café Imperial em (A), Violeta Candeias e Porto Rosa em (B), representadas pelos símbolos (▶) e (◄) respectivamente.

Desta forma, outras características (por exemplo, a orientação dos grãos, a granulometria entre outros) precisam ser estudadas no sentido de permitirem uma proposição de metodologia eficaz e inédita para a classificação dos diversos “tipos” de rochas ornamentais, com base no imageamento das suas chapas polidas.

## 6.6 Especificação Digital da Cor no Sistema “IHS”

Motoki et. al. (2000) propõem uma outra metodologia para a especificação da cor, também usando o scanner simples e o computador, através das análises dos padrões cromáticos HSB [*Hue, saturation e Brightness* – Matiz, Saturação e Brilho (MSB)], ao invés do sistema RGB, devido à alta dispersão da cor na superfície das amostras analisadas.

Na abordagem desta Tese, opta-se pela notação IHS devido a conformidade da mesma como a notação da ferramenta do Spring 4.2. Em um paralelo entre as curvas dos histogramas de uma mesma imagem de chapa polida, verifica-se que as curvas do conjunto de parâmetros IHS se assemelham com a curva gaussiana, enquanto que para as curvas referentes aos parâmetros RGB apresentam maior dispersão por todo o histograma. Esta constatação confere ao sistema IHS maior confiabilidade, justificando sua experimentação através de programa(s) de livre domínio. De acordo com os autores supracitados, o sistema MSB atende

aos atributos quantitativos em conformidade com a Comissão Internacional de L'Eclariage CIE, a qual trata a cor com base em parâmetros físicos.

O programa Wilbur 1.0, foi desenvolvido por Motoki et. al. (2001) para possibilitar a implementação prática da tecnologia de especificação das Rochas Ornamentais pela cor. Em um primeiro momento, as Rochas Ornamentais são classificadas em função das médias de saturação (parâmetro "S"), de acordo com as seguintes categorias: escala de cinza,  $S < 4$ ; levemente colorido,  $4 < S < 6$ ; baixa coloração,  $6 < S < 8$ , média cor  $8 < S < 10$ ; alta coloração  $S > 10$ . As rochas com baixa saturação são subclassificadas pelo parâmetro brilho "B" da seguinte forma: preto quando  $B < 25$ ; cinza escuro  $25 < B < 55$ ; cinza claro  $55 < B < 85$ ; branco  $B > 85$ . As rochas com alta saturação, são subclassificadas pela matiz "M" onde o valor do parâmetro é tido como vermelho para  $0 < H < 20$ , laranja  $20 < H < 40$  e amarelo para  $40 < H < 60$ . Ressalta-se que esta escala de classificação leva em conta os valores obtidos através de algoritmos específicos do programa acima mencionado

O programa apresentado pelo autor acima citado não é de livre domínio, no entanto a especificação das chapas com base nos parâmetros estatísticos das imagens de suas chapas polidas no sistema MSB ou IHS, podem também ser extraídas através do Spring 4.2

## 6.7 Cores Naturais

A cor pode ser compreendida como a percepção do olho humano à faixa visível do espectro eletromagnético. As cores puras podem ser representadas pelo modelo do espaço RGB, sendo esta, uma representação para as cores normalmente usadas nos sistemas de 8 bits. Nas imagens digitais, a cor de cada *pixel* é armazenada utilizando-se o sistema RGB, representada pelas combinações dos valores assumidos pelos *pixels* das três componentes na escala de 0 a 255 para os canais R, G e B.



## 6.8 Parâmetros IHS

O sistema de representação das cores através dos parâmetros IHS pode ser entendido como a representação das cores através de seu brilho, da sua cor (ou matiz) e da sua saturação.

O parâmetro “I” também chamado de B, do inglês *brightness*, refere-se à noção de quão iluminada está a imagem naquele momento. Podendo ser entendida como a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, refletindo a clareza da tonalidade cinza misturada, sendo responsável pela sensação de brilho sobre o olho humano. Os valores deste parâmetro são expressos de 0 a 240, podendo ainda serem representado em porcentagem.

O parâmetro “S”, *saturation*, ou pureza da cor é representada pelo intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é transmitida ou refletida, sendo expresso em porcentagem, 0 a 100%. Isto é, o S para todas as cores de tonalidade cinza é 0 (zero) e o S para todas as cores puras é 100 ao passo que um baixo valor de saturação resulta em uma mistura de comprimentos de onda que irão resultar em tons pastéis (mais apagados). Os valores deste parâmetro são expressos de 0 a 240.

De acordo com Motoki et.al (2002) o parâmetro “H”, *hue*, também chamado de matiz, corresponde a própria cor, sendo relacionado ao comprimento de onda médio da luz que é refletida ou emitida, definindo a cor de um objeto. Conforme França (2003), este parâmetro é também chamado de matiz sendo expresso em grau, podendo assumir valores inteiros que variam de 0 a 360. Os parâmetros RGB referentes às cores puras (com saturação de 100%), podem ser representados neste intervalo, sendo o vermelho  $R = 360^\circ$ , e as outras duas cores primárias, o verde e o azul, assumindo valores iguais a 120 e 240, respectivamente, como representado na figura a seguir. As cores compostas podem também ser representadas neste diagrama circular (FIG. 32), medindo-se o ângulo H no sentido anti-horário a partir do 0 (ou R). A porcentagem da saturação S é representada por um vetor, que pode assumir valor igual a 0 (no centro do círculo) e 100% no contorno/borda.

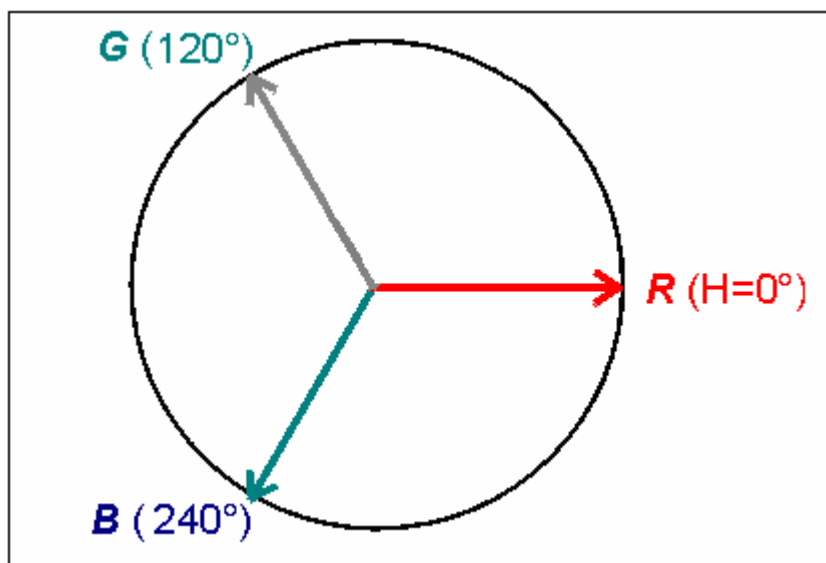


FIGURA 32 - Representação das cores puras RGB em função do Parâmetro H.

Fonte: Modificado de Motoki, 2002.

Por exemplo: a cor vermelha pura é representada por:  $H=0$ ,  $S=100$ ,  $B=100$  a amarela pura por:  $H=60$ ,  $S=100$ ,  $B=100$ ; a verde pura por  $R=120$ ,  $S=100$ ,  $B=0$ ; ciano pura por,  $H=180$ ,  $S=100$ ,  $B=100$ ; azul pura por,  $H=240$ ,  $S=100$ ,  $B=100$ ; magenta pura por,  $H=300$ ,  $S=100$ ,  $B=100$ ; branca pura por,  $H=0$ ,  $S=0$ ,  $B=100$ ; preta pura por,  $H=0$ ,  $S=0$ ,  $B=0$ ; cinza intermediária pura por,  $H=0$ ,  $S=0$ ,  $B=50$ .

De acordo com França (2003), existe uma outra forma de representação gráfica para o sistema IHS - através de triângulo, assim como apresentado na FIG. 33.

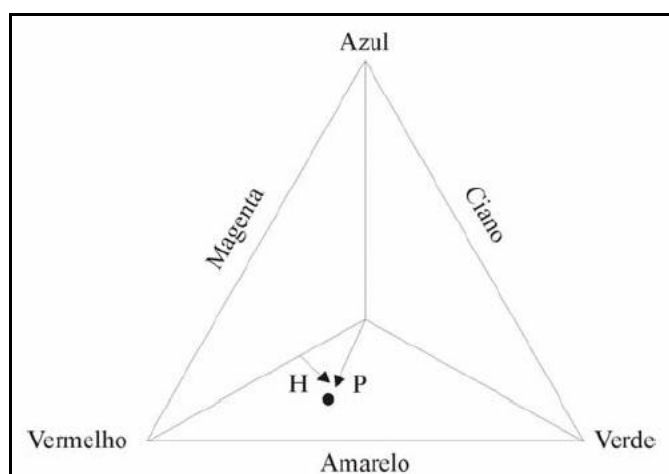


FIGURA 33 - Representação da relação espacial, em diagrama triangular, entre o espaço RGB e IHS

Fonte: França, 2003.

Os componentes de cor do sistema IHS são definidos com base no triângulo de cor representado na FIG. 33. Todas as cores obtidas através da combinação de três outras cores encontram-se dentro de um triângulo cujos vértices são definidos pelas cores iniciais. A figura mostra a matiz ( $H$ ) do ponto de cor  $P$  é o ângulo formado entre o seu vetor e o eixo do vermelho. Assim, quando  $H = 0^\circ$ , a cor é vermelha, quando  $H = 60^\circ$ , a cor é amarela e assim sucessivamente. A saturação ( $S$ ) da cor é proporcional à distância entre  $P$  e o centro do triângulo (quanto mais o ponto estiver afastado do centro, mais saturada está a cor). A intensidade ( $I$ ) é medida relativamente a uma linha perpendicular ao triângulo e que passa pelo seu centro.

## 6.9 Extração dos Parâmetros I H S, no Spring 4.1

Motoki et. Al. (2002,2004), sugerem a extração dos parâmetros estatísticos relativos às análises dos padrões cromáticos para os canais MSB (*hue, saturation e Brightness*), através do programa Wilbur 1.0. No entanto, o fato deste programa não ser de livre domínio elimina a possibilidade do emprego do mesmo, seja para a finalidade de classificação das chapas, seja como instrumento comparativo.

O Spring foi inicialmente desenvolvido para aplicações específicas na área do geoprocessamento e SIG, no entanto devido a certas características e especificidades do programa, é possível usar algumas de suas ferramentas em outros problemas envolvendo Processamento Digital de Imagens (PDI), inclusive para a análise de chapas polidas de rochas ornamentais (FIG. 34), assim como para a segmentação de fases minerais presentes em foto micrografias digitais de lâminas delgadas de certos litotipos.

Por analogia à classificação apresentada por Motoki et. Al. (2002,2004), é proposta uma classificação semelhante, onde a notação MSB é substituída pelo IHS. A intensidade "I" assume a posição do "B" brilho. De forma resumida, o processo consiste no carregamento da imagem da chapa nos canais RGB, seguida de sua conversão para o sistema IHS e da extração dos parâmetros estatísticos, de cada imagem (I, H e S) separadamente, no sistema monocromático (8 bits). A TAB. 51, a seguir, exemplifica os parâmetro estatísticos obtidos no Spring 4.1, para as variedades selecionadas.

TABELA 51

Resultados estatísticos para uma imagem RGB, convertida para o parâmetro “I”

| Amostra = Violeta Candeias A – “I” |                                    |                                       |                             |                                |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Média</b><br>65.70              | <b>Desv.Padrão</b><br>27.65        | <b>Variância</b><br>764.40            | <b>3_Momento</b><br>6805.37 | <b>4_Momento</b><br>1913434.00 |
| <b>Coef. De Variação</b><br>0.42   | <b>Coef. de Assimetria</b><br>0.32 | <b>Kurtosis (achatamento)</b><br>0.27 | <b>Valor Mínimo</b><br>0    | <b>Valor Máximo</b><br>246     |

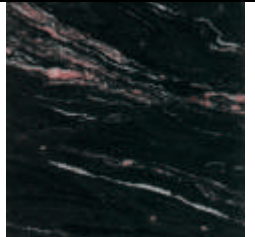

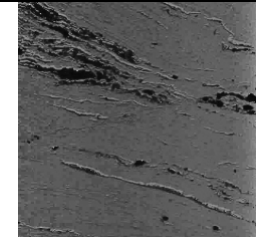
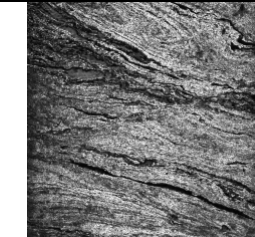


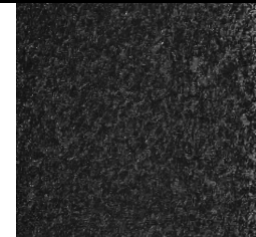
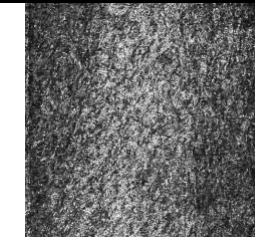
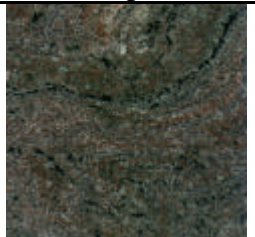
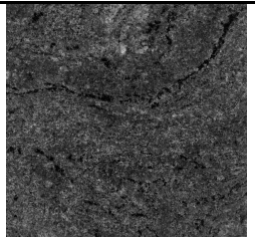
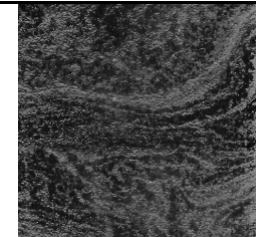
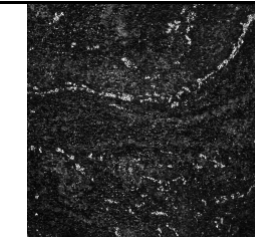
|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|    |    |    |    |
| Nero Porto Rosa A   | I médio = 25,33   | H médio = 86,51  | S médio = 105,76  |
|   |   |   |   |
| Café Imperial A   | I médio = 42,85   | H médio = 61,83  | S médio = 53,80   |
|  |  |  |  |
| Violeta Candeias A  | I médio = 65,70   | H médio = 63,45  | S médio = 38,01   |

FIGURA 34 - Exemplos de transformação RGB para IHS no Spring e resultados das médias para cada imagem das chapas no espaço IHS.

Com a finalidade de classificar com base no sistema IHS as amostras das chapas das variedades selecionadas (Violeta, Café e Nero Porto Rosa) foram realizados os procedimentos, relacionados a seguir:

- Aquisição das imagens de cinco chapas para cada tipo pético (conforme explicado em 4.4);
- Salvamento dos arquivos no formato jpg;

- No programa Spring 4.1, foi criado o projeto “Chapas\_DB”, na raiz do diretório C;

-Com a ferramenta “Modelo de Dados” foi criada uma categoria “Imagens\_Chapas” do modelo imagem;

- No Menu Principal procedeu-se a ativação da opção “Arquivos”, selecionando a opção “Importar”, informando o endereço do arquivo e selecionando o formato JPEG, NO Projection, sendo sua categoria “Imagens\_Chapas”;

- No painel de controle, foi carregada a imagem nos canais RGB;

- No Menu Principal procedeu-se a ativação da opção “Imagem”, selecionando a opção “Transformação IHS”;

- Foi realizada a transformação selecionando a opção IHS=>RGB;

- A imagem I foi carregada;

- No Menu Principal foi ativada a opção “Estatística” extraíndo o valor médio, seu desvio padrão e variância para a imagem I. Este procedimento foi repetido para as imagens H e S;

- Foi realizar o procedimento para cada uma das cinco amostras selecionadas, tendo sido salvos os resultados no formato txt para cada imagem (I,H e S respectivamente).

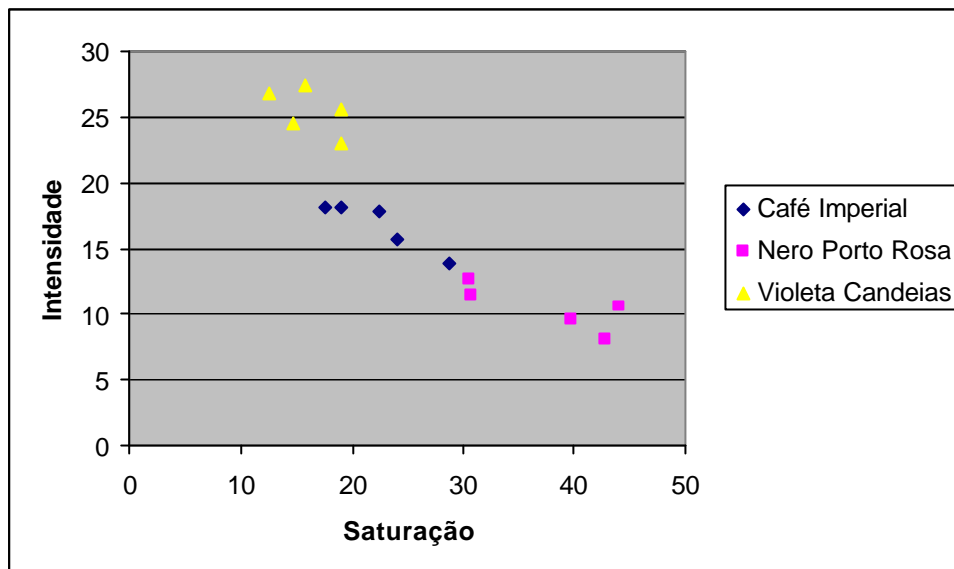
A TAB. 52, a seguir, resume os valores das médias, desvio padrão e variância obtidos após a realização dos procedimentos acima descritos:

TABELA 52

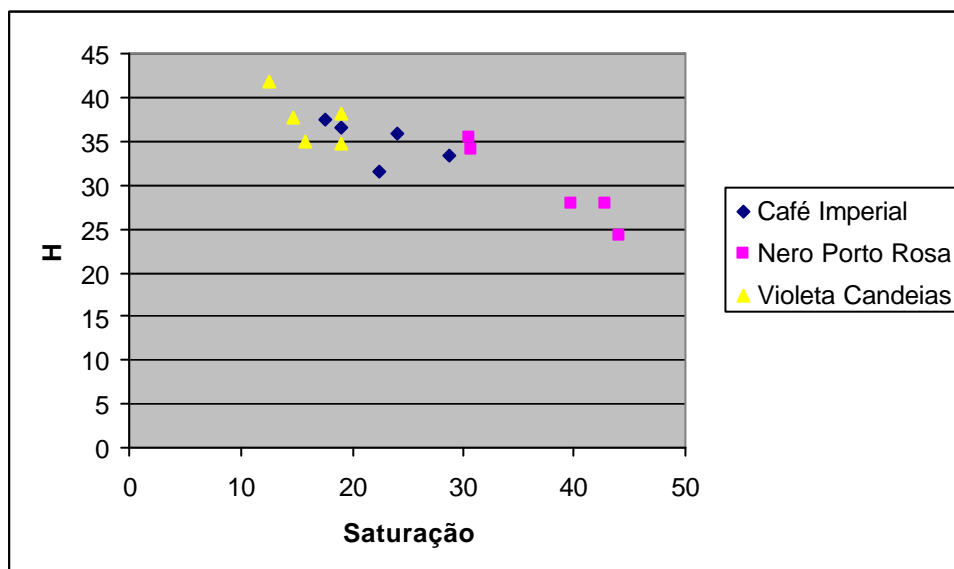
Síntese dos resultados da estatística para os canais IHS para as variedades Café Imperial, Nero Porto Rosa e Violeta Candeias

| Chapa/<br>Imagem | Parâmetro “I” |       |                | Parâmetro “H” |       |                | Parâmetro “S” |       |                |
|------------------|---------------|-------|----------------|---------------|-------|----------------|---------------|-------|----------------|
|                  | Média         | D     | d <sup>2</sup> | Média         | d     | d <sup>2</sup> | Média         | D     | d <sup>2</sup> |
| Cafe_A           | 42,85         | 25,17 | 633,41         | 61,83         | 31,64 | 1000,92        | 53,80         | 38,57 | 1487,89        |
| Cafe_B           | 43,52         | 19,36 | 374,79         | 49,36         | 36,48 | 1330,61        | 45,46         | 39,88 | 1590,69        |
| Cafe_C           | 37,77         | 21,70 | 471,00         | 61,75         | 62,82 | 3946,97        | 57,79         | 60,26 | 3631,79        |
| Cafe_D           | 43,52         | 19,27 | 371,36         | 47,06         | 37,40 | 1398,97        | 42,36         | 36,48 | 1330,56        |
| Cafe_E           | 33,37         | 17,67 | 312,26         | 41,06         | 33,52 | 1123,61        | 68,99         | 56,16 | 3153,77        |
| Nero_A           | 25,33         | 26,43 | 698,32         | 86,51         | 24,38 | 594,41         | 105,76        | 69,20 | 4788,59        |
| Nero_B           | 23,09         | 28,87 | 833,35         | 94,10         | 27,92 | 779,56         | 95,38         | 71,43 | 5101,58        |
| Nero_C           | 19,39         | 21,66 | 469,09         | 113,94        | 28,05 | 786,85         | 102,70        | 73,65 | 5424,80        |
| Nero_D           | 27,48         | 28,19 | 794,53         | 104,08        | 34,01 | 1156,52        | 73,65         | 66,00 | 4356,66        |
| Nero_E           | 30,53         | 35,32 | 1247,66        | 111,00        | 35,37 | 1251,25        | 73,04         | 64,26 | 4129,93        |
| Vio_A            | 65,70         | 27,65 | 764,40         | 63,45         | 35,10 | 1231,83        | 38,01         | 37,04 | 1371,76        |
| Vio_B            | 64,45         | 26,45 | 699,54         | 82,55         | 41,90 | 1755,75        | 30,30         | 37,04 | 1371,76        |
| Vio_C            | 55,40         | 24,34 | 592,35         | 55,36         | 38,10 | 1451,58        | 45,53         | 40,64 | 1651,37        |
| Vio_D            | 61,33         | 26,69 | 712,57         | 48,80         | 34,88 | 1216,78        | 45,46         | 41,61 | 1731,34        |
| Vio_E            | 58,84         | 27,00 | 729,11         | 91,95         | 37,75 | 1425,09        | 35,17         | 42,54 | 1809,36        |

Com base nos resultados obtidos foi possível estabelecer as correlações entre a intensidade “I” e a saturação “S” e entre o desvio padrão da cor “H” “*hue*”, e a saturação “S”, assim como representado na FIG. 35 (A) e (B), respectivamente.



(A)



(B)

FIGURA 35 - Diagramas de correlação

Nota: (A) corresponde à correlação entre a intensidade “I” pela saturação “S”; (B) corresponde à correlação entre o desvio padrão da cor “H” “hue”, e a saturação “S”

O diagrama ternário com vértices I, H e S correspondendo a 100%, serve para a separação dos tipos com base nestes parâmetros assim como representado na HG. 36. Os resultados obtidos a partir dos cálculos estatísticos (no programa Spring 4.11) foram normalizados, sendo os mesmos apresentados na TAB. 53, a seguir.

**TABELA 53**

Valores estatísticos normalizados para os parâmetros IHS

| Amostra – chapa    | Valores Médios Normalizados |           |           |
|--------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
|                    | Média “I”                   | Média “H” | Média “S” |
| Café Imperial A    | 42,85                       | 61,83     | 53,8      |
| Café Imperial B    | 43,52                       | 49,36     | 45,46     |
| Café Imperial C    | 37,77                       | 61,75     | 57,79     |
| Café Imperial D    | 43,52                       | 47,06     | 42,36     |
| Café Imperial E    | 33,37                       | 41,06     | 68,99     |
| Nero Porto Rosa A  | 25,33                       | 86,51     | 105,76    |
| Nero Porto Rosa B  | 23,09                       | 94,1      | 95,38     |
| Nero Porto Rosa C  | 19,39                       | 113,94    | 102,7     |
| Nero Porto Rosa D  | 27,48                       | 104,08    | 73,65     |
| Nero Porto Rosa E  | 30,53                       | 111       | 73,04     |
| Violeta Candeias A | 65,7                        | 63,45     | 38,01     |
| Violeta Candeias B | 64,45                       | 82,55     | 30,3      |
| Violeta Candeias C | 55,4                        | 55,36     | 45,53     |
| Violeta Candeias D | 61,33                       | 48,8      | 45,46     |
| Violeta Candeias E | 58,84                       | 91,95     | 35,17     |



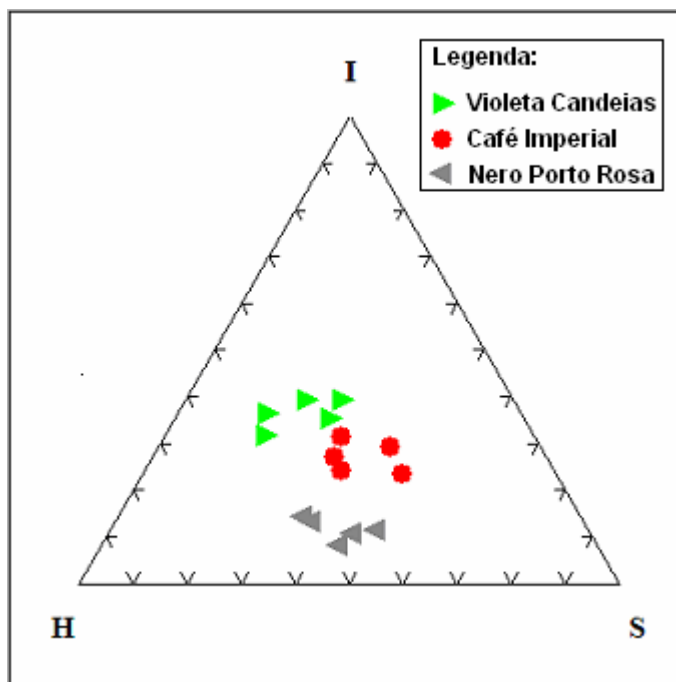


FIGURA 36 - Representação dos parâmetros IHS em diagrama ternário

## 6.10 Curva Granulométrica e Estatística Elementar

Um outro aspecto a ser considerado é a granulometria óptica, que serve como fator relevante durante a designação das características de uma dada rocha. Cada chapa analisada apresenta uma curva específica. Assim, para cada conjunto de imagens é possível a definição de um campo correspondente para cada tipo de rocha. Através do estudo das curvas granulométricas referentes a um conjunto de pelo menos 20 chapas polidas pode-se determinar a região entre a curva máxima e mínima, a qual definirá o campo correspondente à assinatura de um determinado tipo de rocha. A FIG. 37 representa as curvas granulométricas, adquiridas a partir do imageamento das chapas para variedades ornamentais.

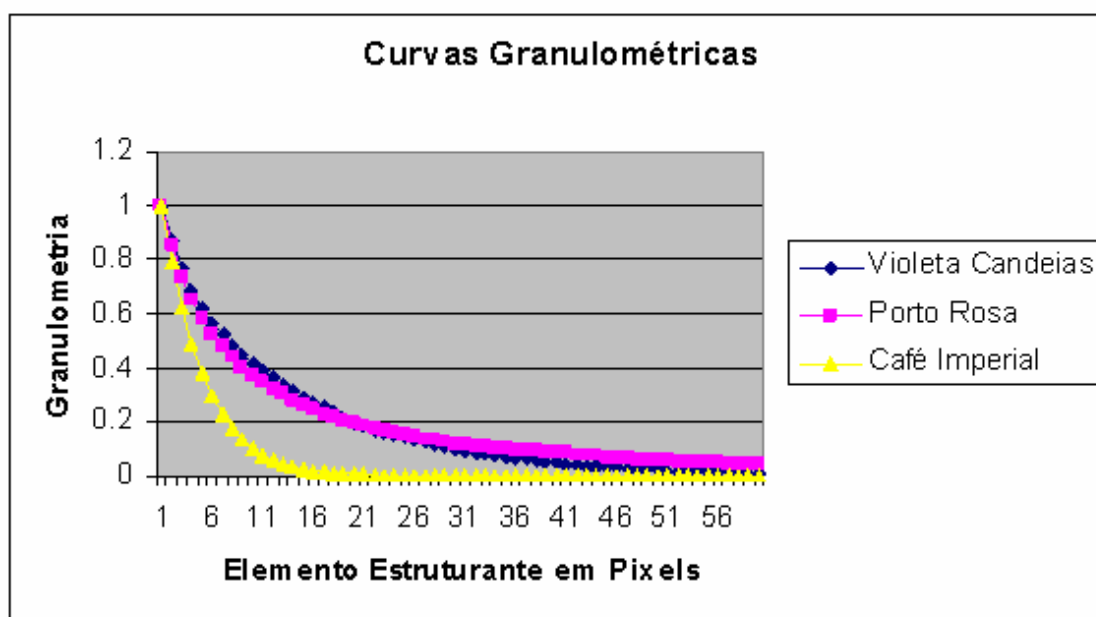


FIGURA 37 - Representações das curvas granulométricas medianas (de um total de 20 para cada amostra) no canal verde (G), da variedades: Violeta Candeias, Nero Porto Rosa e Café Imperial

De acordo com Antonazzo et al. (2003), parâmetros estatísticos, tais como a média e a variância, são úteis e suficientes para se definir um campo específico para cada tipo pético com valor ornamental. O estudo sistemático destas características, com base em uma metodologia previamente definida e anteriormente testada, permite estabelecer de forma precisa a proveniência de cada tipo pético, assegurando assim, sua origem. O programa *Stone Analyser*, realiza os cálculos estatísticos com base na granulometria, sendo a mesma definida em função de um valor máximo em pixels para o objeto (grão). Com base na metodologia proposta por Antonazzo et. al (2003), foi fixado em sessenta *pixels* o tamanho máximo dos conjuntos analisados para a determinação da granulometria.

Com base nos histogramas, pode-se ainda extrair (através de cálculos, ou do programa *Stone Analyser*), a média e a variância para as amostras analisadas. A seguir é apresentado o gráfico de correlação Média/Variância, para o canal R, referente a três conjuntos de 20 amostras, correspondente ao imageamento das chapas polidas das variedades, comercialmente denominadas de Café Imperial, Porto Rosa e Violeta Candeias (FIG. 38).

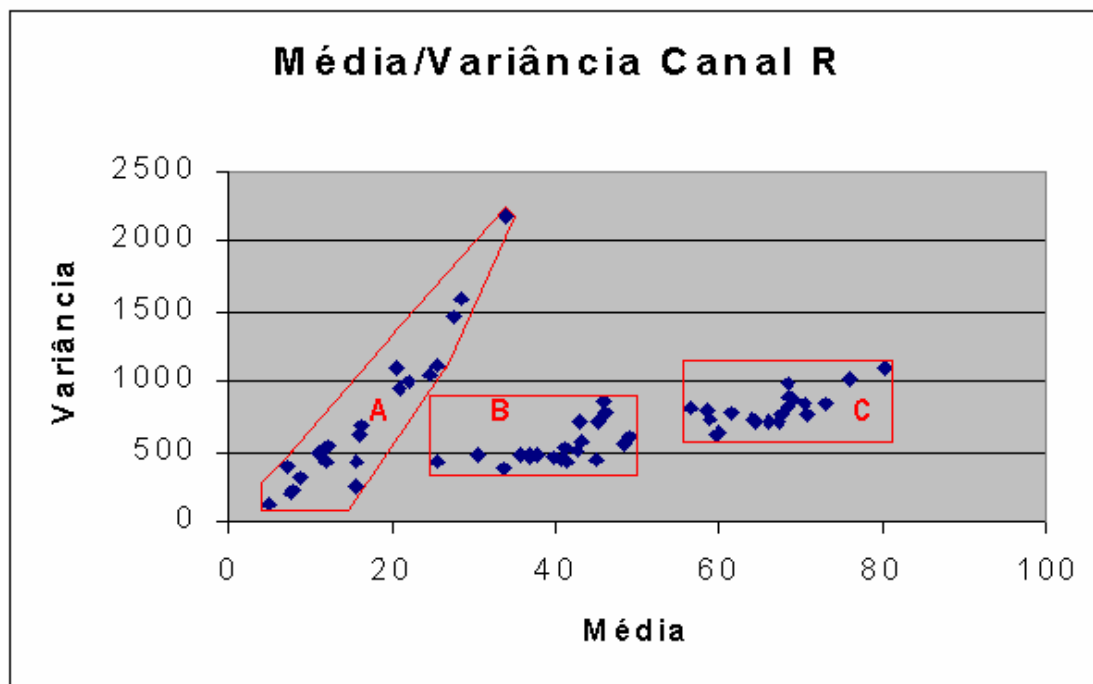


FIGURA 38 - Correlação Média Variância – Canal R

Nota: O campo denominado de (A) corresponde a correlação para a variedade Porto Rosa, o campo (B) para o Violeta Candeias e o campo (C), para o Café Imperial.

Através desses parâmetros (média e variância), pode-se aplicar critérios de classificação e de seleção de tipos de chapas pouco dispendiosos, do ponto de vista da implementação da técnica, dos cálculos e das obtenções dos resultados. É importante observar que os programas aqui utilizados têm livre acesso para pesquisadores.

## **7 APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PDI, PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DISCRIMINANTES DA FORMA DOS GRÃOS DE VARIEDADES ORNAMENTAIS**

Este capítulo tem como objetivo o estudo de viabilidade do uso das técnica de PDI em escala microscópica, visando uma melhor caracterização tecnológica dos materiais pétreos através de microanálises e determinações de parâmetros da forma do grão.

### **7.1 Técnicas de PDI com Aplicação no Setor das Rochas Ornamentais**

Estudos apresentados por Maurício et al. (1997), Bruno (1997) Chica-Olmo (1998), entre outros, indicam com clareza que análises de materiais pétreos, através de técnicas de PDI envolvendo procedimentos da Morfologia Matemática (MM), podem e devem ser utilizadas durante as investigações e caracterizações dos materiais pétreos de revestimento, como no caso exemplificado – o de um prédio histórico.

Maurício et al (2000) cita o exemplo da Basílica da Estrela (obra do século XVIII localizada na cidade de Lisboa), cujo revestimento interno é constituído por chapas de (aproximadamente 40 x 40cm) de calcário de idade cretácea, denominado “Amarelo de Negrais”. Observações visuais de detalhe, revelaram que estes materiais apresentavam-se mais ou menos intensamente danificados, dependendo de sua localização no interior da igreja. Posteriormente conclui-se que os danos estavam diretamente relacionados às condições adversas da atmosfera no interior da igreja e devido ao contato deste material com as paredes do edifício.

Com objetivo de quantificar o grau de danificação (devido aos processos de alteração) destes materiais, os autores anteriormente citados, sugeriram a aplicação de uma metodologia comparativa.

Os resultados das análises qualitativas procedidas por intermédio das técnicas de MM, foram comparados e correlacionados com os resultados das análises qualitativas,

realizadas por sua vez, por grupo de profissionais da área, através de métodos tradicionais de análises e estimativas visuais.

A comparação dos resultados permitiu a validação do sistema e como conseqüência admiti-se também a validade das técnicas de MM para a discriminação do(s) grau(s) de alteração de rochas ornamentais destinadas aos revestimentos externos.

Como já exemplificado (No Capítulo 6), as técnicas de PDI e MM aplicadas à discriminação de tipos ornamentais, constituem numa nova linha de pesquisa, cujas algumas aplicações já foram testadas e de certa forma aprovadas e recomendadas. Destaca-se suas aplicações, no que diz respeito às especificações e quantificações das diferentes variedades de materiais pétreos, devendo as mesmas (técnicas de PDI e MM) serem seguidas e aprimoradas, em função da facilidade e da amplitude de suas aplicações também setor das Rochas Ornamentais.

As correlações entre propriedades físico-mecânicas e características tecnológicas já são objeto de estudos, por vários autores (Artur et al., 2002; Tugrul e Zarif, 1998; Ulasay et al, 1994), sendo esta uma outra linha de pesquisa, bem difundida no setor das rochas ornamentais. Por outro lado, o uso de técnicas de PDI é também uma linha de pesquisa inovadora devendo ser aplicada para a complementação da caracterização tecnológica dos materiais pétreos. Tem sido utilizada no setor, sobretudo para a classificação de chapas polidas, seja através de suas especificações nos canais RGB (*red, green, blue*) e/ou IHS, seja pela construções de curvas granulométricas a exemplo de Laurange (2002), Motoki (2005a), Campello et. al (2004) entre muitos outros.

Neste capítulo serão apresentadas contribuições para o desenvolvimento desta linha de pesquisa através da proposição de uma metodologia capaz de quantificar as formas e distribuições dos grãos, pelos mosaicos de suas seções polidas, para posterior correlação com suas características tecnológicas – sendo a maior parte dos procedimentos realizados através dos programas de livre distribuição.

## 7.2 Definições

Para o entendimento da parte metodológica deste capítulo, algumas definições tornam-se necessárias, sendo as mesmas relacionadas a seguir.

### 7.2.1 Imagem digital

As imagens digitais são representadas por matrizes do tipo  $a[m,n]$ , podendo ser entendidas como o resultado da representação em um espaço discreto bidimensional (2D). É o resultado do processo de amostragem de uma dada imagem (contínua)  $a(x,y)$  devido sua digitalização a partir de um espaço contínuo 2D.

O efeito deste processo de digitalização é representado na FIG. 39, aonde a imagem  $a(x,y)$  contínua é subdividida em  $N$  linhas e  $M$  colunas. A intersecção entre uma linha e uma coluna é denominada *pixel* – do inglês “*picture element*”. Além da coordenada  $(x,y)$ , o *pixel* pode assumir valores os quais podem ser relacionados a variáveis tais como o tempo ( $t$ ), profundidade ( $z$ ), cor ( $\lambda$ ) entre muitas outras. Para o caso das imagens em tons de cinza, o *pixel* pode assumir apenas valores inteiros que vão de 0 a 255 (sistemas de 8bits).

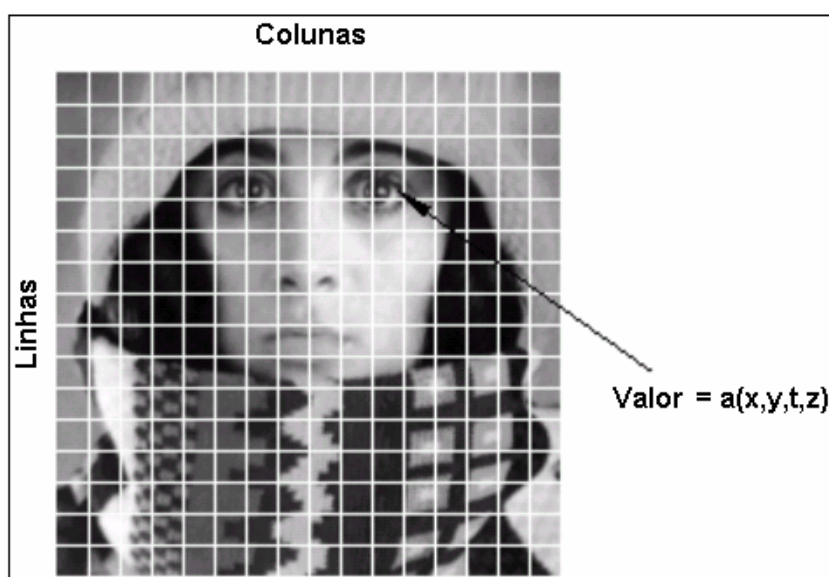


FIGURA 39 - Representação da digitalização de uma imagem contínua, matriz do tipo  $[16,16]$ , o pixel na coordenada  $[m=10, n=4]$ , tem o valor 110 para a variável brilho

Fonte: Modificado de Young, 1998, p., 3.

Para as análises de imagens, dois tipos de representações discretas, podem ser utilizados: o mais comum é a *grade* quadrada, no qual os conjuntos contínuos são representados em arranjo quadrados em conformidade com um quadrado. O outro tipo de *grade* é a hexagonal, porém menos usada.

### 7.2.2 Imagem Binária

As imagens binárias correspondem a informações codificadas apenas com dois valores: **0** e **1** – se a imagem do *pixel* pertence a um determinado objeto, então este deverá assumir o valor **1**, caso contrário o valor é **0**. Na morfologia matemática, os objetos devem ser entendidos como conjuntos. Pode-se admitir que neste caso (o conjunto dos objetos), assume o valor **1** e seu entorno “*background*” (fundo), assume o valor **0**. Exemplos de imagens binárias são apresentados na FIG. 40.

Convém ressaltar que este exemplo não trata-se de uma convenção para a representação de uma imagem binária, visto que o contrário poderia também ter sido exemplificado.

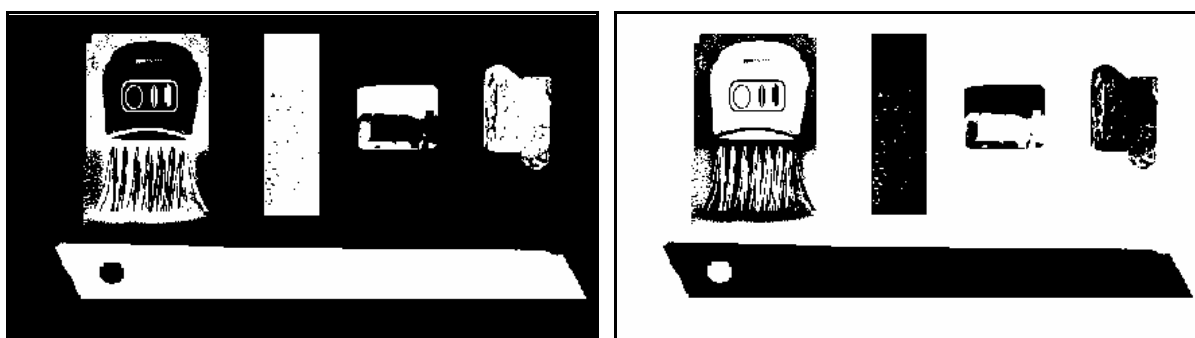


FIGURA 40 - Exemplos de representações de uma mesma imagem binárias, destaque para noção de fundo e contra-fundo

### 7.2.3 Elementos Estruturantes

De acordo com Laurence (2003), os elementos estruturantes são constituídos por um subconjunto do conjunto de grades. Teoricamente estes elementos poderiam ter uma dimensão suplementar, no entanto os elementos estruturantes devem ser entendidos como pertencentes à mesma e única dimensão. Na FIG. 41 são apresentadas algumas das formas possíveis para os elementos estruturantes.

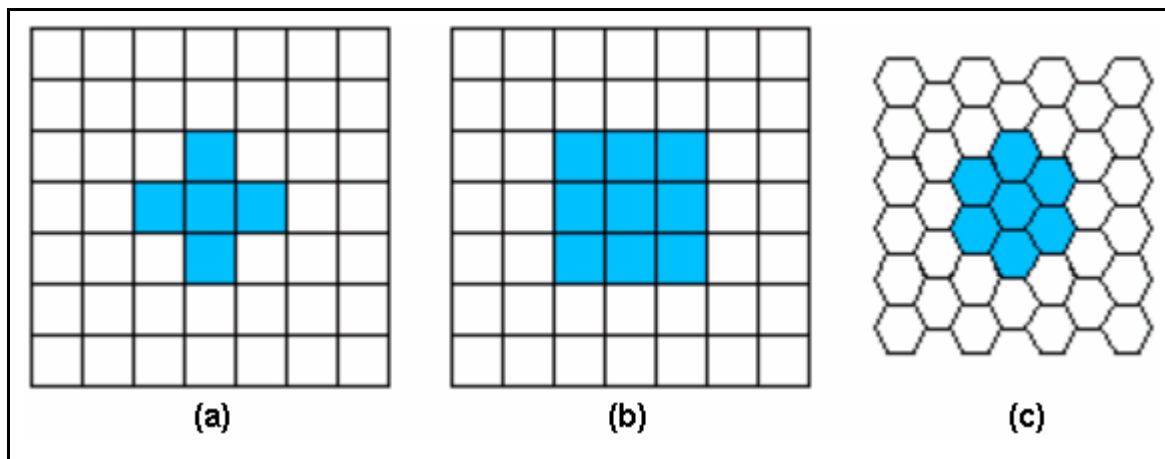


FIGURA 41 - Exemplos de elementos estruturantes usados nas análises morfológicas de imagens digitais

Nota: a) – diamante, b) quadrado, c) hexagonal.

Fonte Modificado de Young, 1998, p., 5

#### 7.2.4 Operações Matemáticas

As operações baseadas na aritmética binária ou Booleana, formam a base de um poderoso conjunto de ferramentas e constituem a morfologia matemática, denominada “Operações Morfológicas”.

As operações matemáticas são classificadas como do tipo pontual, sendo suas notações baseadas nos conjunto de operações binárias básicas, assim como apresentado e exemplificado na FIG. 42, a seguir:

$$\text{NOT} \quad c = a$$

$$\text{OR} \quad c = a + b$$

$$\text{AND} \quad c = a \cdot b$$

$$\text{XOR} \quad c = a \oplus b = a \cdot b + a \cdot b$$

$$\text{SUB} \quad c = a \setminus b = a - b = a \cdot b$$



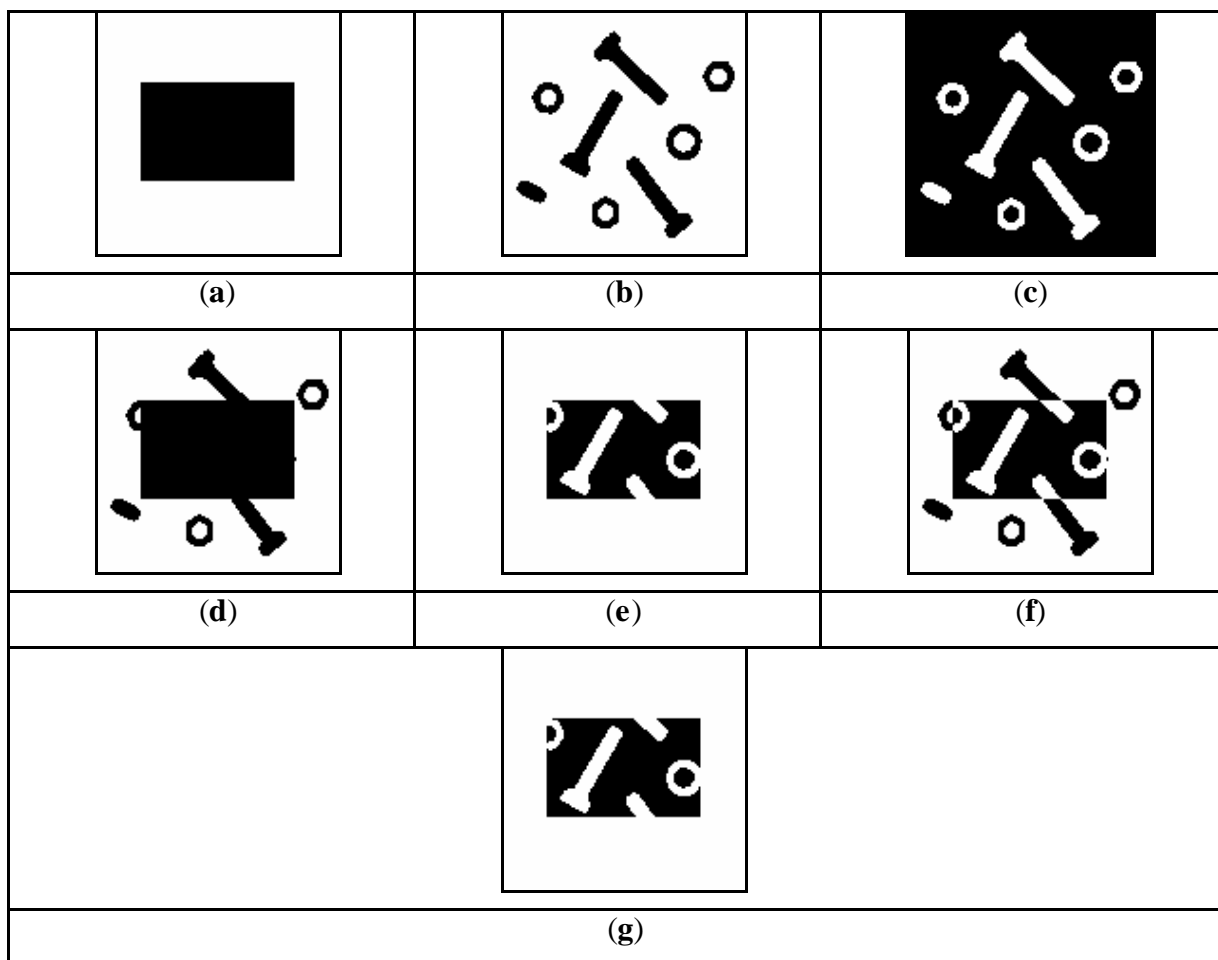


FIGURA 42 - Exemplos de operações matemáticas binárias (Booleanas)

Nota: **a** – imagem a, **b** – imagem b, **c** - NOT(b), **d** – OR(a,b) = a + b, **e** – AND(a,b) = a . b, **f** - XOR(a,b) = a ⊕ b e **g** - SUB(a,b) = a \ b

Fonte: Modificado de Young, 1998, p., 48.

## 7.2.5 Operações Morfológicas

### 7.2.5.1 Erosão

De acordo com Laurence (2001), a erosão pode ser entendida como uma operação morfológica normalmente entre um dado conjunto e um elemento estruturante. O resultado é uma interação entre esses dois conjuntos.

Neste caso, a origem de um dado elemento estruturante, é colocada por sobre cada ponto do conjunto original e então tem-se a intersecção destes dois conjuntos, sendo o resultado colocado por sobre a origem do conjunto original. Este procedimento é repetido

para cada ponto da imagem. Ressalta-se que as imagens digitais são representadas por um espaço discreto, dessa forma estamos trabalhando com *pixels* e não com pontos.

Ao chamar o conjunto de  $X$  e a erosão por um elemento estruturante de  $B$ , sendo representada por  $\varepsilon_B(X)$ , tem-se a definição:

$$\varepsilon_B(X) = \{ X \ominus B \}$$

### 7.2.5.2 Dilatação

De acordo com o autor acima citado, devido à dualidade a operação morfológica da dilatação pode ser definida pela expressão:

$$d_B(X) = \{ X \oplus B \}$$

### 7.2.6 Segmentação de uma imagem digital

A segmentação de uma imagem digital, pode ser definida como as suas partições, cada uma contendo agrupamentos de propriedades específicas e semelhantes.

Em uma imagem segmentada, as figuras elementares, não são apenas *pixels* e sim conjuntos de *pixels* conectados. No processo de segmentação, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de *pixels* contíguos, que possuam propriedades em comum, por exemplo níveis de cinza similares. A divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias.

As imagens segmentadas permitem a realização de investigações e comparações entre os objetos presentes em cada região da imagem (vizinho, borda ou adjacência). As técnicas de segmentação de imagens, permitem a realização de análises quantitativas durante os processos de interpretação e discriminação de dados, referentes a uma dada imagem.

Nesse trabalho, a análise da forma do grão será usado o processo de crescimento de regiões. Sendo esta, uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente às regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada *pixel* como uma região distinta. Estabelece-se critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de

hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido.

### 7.3 O Coeficiente de Textura

Durante a fase inicial da pesquisa, houve direcionamento no sentido do estudo e do desenvolvimento de métodos capazes de correlacionarem a textura, de materiais pétreos, com as suas características tecnológicas. Por fim concluiu-se pela necessidade da implementação do Coeficiente de Textura (CT), assim como definido por Ersoy & Waller (1995). Estes autores sugerem que, inicialmente as partículas das rochas sejam investigadas através das análises das fotomicrografias de suas seções delgadas.

De acordo com a metodologia proposta, para cada tipo de rocha analisada foram desenvolvidas as seguintes etapas:

1. Séries de fotomicrografias tiradas (com microscópio polarizado) para cada um dos tipos pétreos analisados;
2. Em seguida foram reveladas as fotografias coloridas em papel com 101 por 149mm cada uma;
3. Define-se uma “janela de observação” para as análises eliminando os grãos parcialmente fotografados;
4. Os contornos dos grãos foram traçados *com uma caneta* de 0,4mm;
5. Os contornos dos grãos, foram diretamente analisados, através de analisador de imagens para determinação dos parâmetros geométricos das partículas (grãos constituintes da rocha).

Os dados levantados foram salvos, sendo os seguintes parâmetros geométricos analisados, para cada um dos grãos inteiros presentes na “janela”: área percentual dos grãos e da matriz (para o caso de quartzitos), largura; perímetro; ângulo de orientação e a área. Como resultado serão obtidos valores únicos correspondente ao coeficiente de textura que modela a interação entre a estrutura da rocha com algumas de suas propriedades físico mecânicas.

O método de análise quantitativa das propriedades geométricas das partículas de uma rocha é obtido pelas seguintes componentes:

- A) – medida e análise da forma dos grãos;

- B) – medida e análises da alongação dos grãos (para calcular o fator forma de circularidade do grão e sua “razão do aspecto”);
- C) – medida e quantificação da medida angular entre o maior eixo alongado (somente dos grãos alongados) e o eixo horizontal da janela de observação;
- D) – calculo da área total de cada grão em relação à área de referência.

Estas componentes satisfazem a fórmula, conforme proposto por Howarth e Rowlands (1986);

$$TC = AW \left[ \left( \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left( \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right]$$

Onde:

- **TC** = Coeficiente de textura;
- **AW** = Densidade de empacotamento dos grãos;
- **N<sub>0</sub>** = Número de grãos com “razão do aspecto” inferior a 2.0;
- **N<sub>1</sub>** = Número de grãos apresentando “razão do aspecto” maior a 2.0;
- **FF<sub>0</sub>** = Média aritmética do fator forma de todos os grãos “N<sub>1</sub>”;
- **AR<sub>1</sub>** = Média aritmética da razão do aspecto dos grãos “N<sub>0</sub>”;
- **AF<sub>1</sub>** = Fator de orientação angular computado para todos os grãos “N<sub>1</sub>”.

A implementação de tal equação através de métodos computacionais e de PDI requerem o desenvolvimento de algoritmos específicos, fugindo dos objetivos específicos da tese. No entanto o estudo da mesma se faz importante com a finalidade de nortear os parâmetros a serem analisados através das ferramentas disponíveis nos programas Spring e Quantikov.

### 7.3.1 Medições e cálculos para os parâmetros geométricos

Inicialmente a análise individual consiste na definição de uma janela de observação, ou área que é definida em função da variabilidade da granulação da rocha (granulação fina e granulação grossa). Todos os grãos em contato com a janela de observação selecionada, não foram medidos pelo simples fato dos mesmos não se tratarem de grãos completos, assim como representado na FIG. 43.

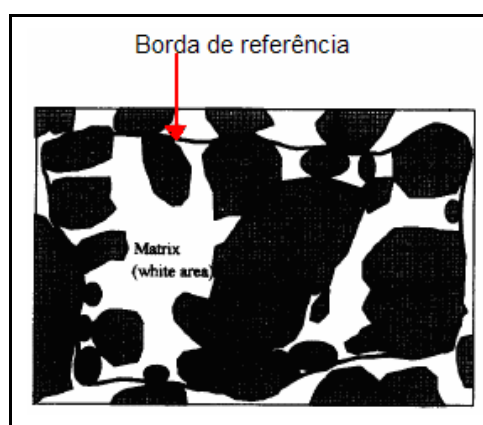


FIGURA 43 - Delineamento da linha de borda de referência para amostra de arenito um arenito

Fonte: Ersoy & Waller, 1995.

A área e o perímetro de cada grão devem ser medidos de forma direta. O comprimento e a largura dos grãos foram definidos como sendo correspondentes aos diâmetros "*Feret's*", máximo e mínimo respectivamente. O diâmetro *Feret's* é definido como a distância perpendicular entre duas tangentes paralelas, externas ao objeto assim com representado na FIG. 44.

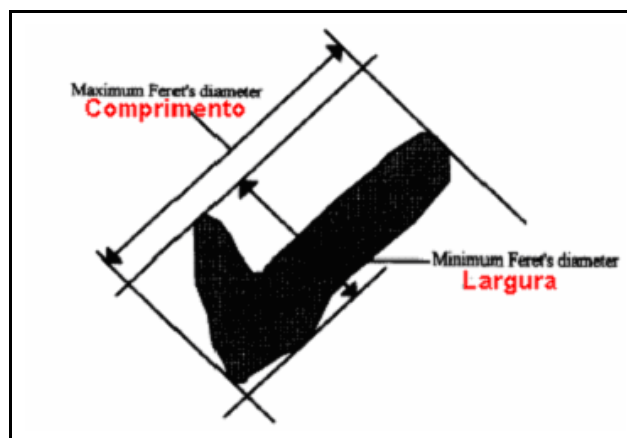


FIGURA 44 - Ilustração dos diâmetros “Feret’s”, máximo e mínimo, correspondentes à largura e ao comprimento respectivamente

Fonte: Ersoy & Waller, 1995.

Existem ainda dois parâmetros geométricos secundários, durante a análise da forma do grão: a “razão do aspecto” e o fator de circularidade. A primeira trata-se da maior alongação do grão, sendo medida usando a *razão do aspecto* do grão, ou seja a razão do comprimento pela largura.

O fator forma é uma medida do grão relacionada à circularidade. O fator ou circularidade é definido pela equação:

$$FC = \frac{4 \cdot \gamma(\text{área})}{(\text{perímetro})^2}$$

Os valores destes parâmetros variam de próximo a **0** para os objetos muito alongados e **1,0** para os círculos perfeitos. Um aumento na alongação faz com que o fator forma sofra uma redução.

O termo final da equação, o coeficiente de orientação angular, é definido como sendo o ângulo entre o máximo diâmetro *Feret’s* (comprimento) e a direção horizontal. O valor máximo para este ângulo é de 180°. A orientação angular dos grãos deve ser quantificada em função do desenvolvimento do fator angular. Este fator deve ser calculado apenas para os grãos alongados que apresentaram o valor da razão do aspecto maior que 2.0.

Vale frisar que todos estes cálculos foram executados a partir de análises e procedimentos não computacionais, fator que acarreta em um maior dispêndio de tempo para a aquisição das medidas. Dessa forma a migração/implementação do CT, assim como proposto por Howarth e Rowlands (1986), para uma plataforma computacional é uma tendência que sem dúvida trará benefícios para diferentes segmentos não só da Geologia como também da Engenharia de Materiais. No entanto esta é uma tarefa que evolue

conhecimentos aprofundados sobre programação de computadores, fugindo desta forma, dos objetivos específicos da Tese, relacionados no Capítulo 3.

#### 7.4 Metodologia para a análise da forma do grão

Para a quantificação da forma dos grãos de um determinado tipo pétreo, em um primeiro momento, é necessária a realização da segmentação dos grãos, a partir do mosaico de suas imagens digitais obtidas pelas suas fotomicrografias. Essas imagens segmentadas são posteriormente binarizadas, salvas com formato bmp e abertas no Programa Quantikov. Dessa forma é possível, através de procedimentos e ferramentas específicas, discriminar e investigar alguns dos parâmetros, componentes da fórmula do (CT), São eles: maior largura, diâmetro médio, maior área, menor área, fator de orientação das classes dos grãos, dentre muitos outros. Assim, é possível correlacionar parâmetros constituintes da forma do grão com as características tecnológicas de um determinado tipo ornamental.

A seguir, é apresentada metodologia para a extração destes parâmetros, utilizando na maioria das vezes, programas de livre distribuição. Essa metodologia envolve as seguintes etapas:

##### **I) - Seleção dos materiais;**

Com a finalidade de testar o método, foram selecionados todos os materiais relacionados no Capítulo V. Muitos destes materiais trazem consigo, algumas de suas características tecnológicas relacionadas.

##### **II) - Confeção dos mosaicos das lâminas;**

Para a confecção dos mosaicos das lâminas foram realizadas baterias de fotomicrografias das seções delgadas envolvidas. Foi utilizado microscópio petrográfico com luz polarizada e câmera digital acoplada e platina provida de dispositivo (chariot) para acoplagem da lamina com graduação em milímetros.

Para cada seção delgada, foram realizadas um total de no mínimo 12 fotomicrografias, com o aumento de 25x e nicóis cruzados. Com a finalidade de se obter uma sobreposição superior a 30%, (para cada imagem digital capturada), foi adotado um espaçamento de 3,0 mm, na horizontal por 2,0 mm para o deslocamento no sentido vertical.

Para a confecção dos mosaicos das lâminas, os arquivos correspondentes às fotomicrografias capturadas, foram salvas no formato JPG. Em seguida os mesmos foram abertos (em conjunto) no programa *PhotoShop*, da *Microsoft* e especificamente com o auxílio da ferramenta “*Criar Photomerge*”. O próximo passo foi a execução da função mosaico. Alguns dos resultados apresentados a seguir na FIG. 45.

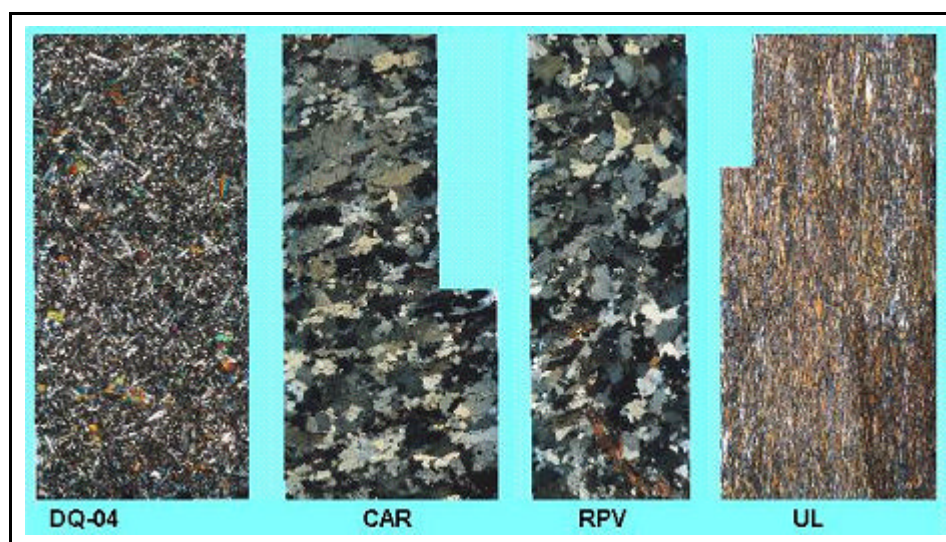


FIGURA 45 - Exemplos de mosaicos confeccionados a partir de fotomicrografias de seções delgadas de variedades ornamentais

### III) - Segmentação das imagens;

O próximo passo constitui na segmentação das imagens, selecionadas a partir dos mosaicos. Deve-se selecionar uma região representativa da amostra através do mosaico das fotomicrografias, salvando-a com resolução conhecida (recomenda-se pelo menos 150dpi) e com formato tif, posteriormente deve ser seguida a seguinte rotina:

- a) - Na plataforma do Spring 4.11, criar o projeto “Grãos\_DB”;
- b) - Criar o Plano de Informação (PI) “Mosaicos” sendo essa uma categoria do tipo imagem;
- c) – Importar o arquivo do mosaico, através da ferramenta “importar geotif”;
- d) – Desenhar a imagem em uma composição RGB, fiel a da microscopia;
- e) – Proceder a segmentação da imagem, configurando a melhor similaridade e área em pixels, em função do tamanho dos grãos e das classes de presentes na lamina. Esse procedimento deve ser checado junto ao microscópio petrográfico até uma satisfatória segmentação dos grãos (exemplo: para rochas inequigranulares, com grãos maiores apresentando diâmetros maiores por volta de 2,0mm, é recomendado o emprego de



similaridade com valor variando de 12 a 20, área em *pixels* entre 80 e 120, assim como representado na FIG. 46. Esse é um procedimento de calibração da técnica em função da coleção de dados estudada, o que significa que diante de nova coleção amostral a calibração indicará novos valores de parâmetros. É importante frisar ainda que toda calibração busca atender da melhor forma possível à maioria dos casos, mas sempre há resíduos que não se encaixam perfeitamente nos valores arbitrados;

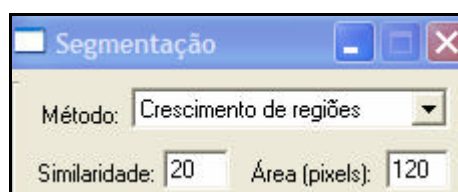


FIGURA 46 - Representação parcial da janela de segmentação do Spring 4.11.

f) – Carregar a imagem segmentada e exportar no formato tiff/geotiff.

#### **IV) – Extração dos Parâmetros Discriminantes da Forma dos Grãos pelo Analisador de Imagens Quantikov;**

No programa Quantikov, através de ferramentas específicas, são realizadas as operações de dilatação, eliminação dos elementos das bordas assim como a extração e quantificação dos parâmetros componentes da forma do grão, assim como descrito nos passos a seguir:

A) – A imagem segmentada, deve primeiro ser carregada no programa (a partir de arquivos com extensão tif ou bmp);

B) - Através da ferramenta, {calcula largura (distâncias)}, informar a escala da imagem segmentada;

C) - Através da ferramenta {bin}, proceder a binarização da imagem;

D)- Através do filtro, {Objetos das Bordas} eliminar os elementos das borda, visto que os elementos parcialmente representados, não devem fazer parte do universo processado;

E) – Através da ferramenta, {Resultados/Gera estatística\_filtro> F. Forma}, gerar a função estatística para obter os fatores determinantes da forma dos grãos;

F) - Proceder à quantificação dos grãos através da ferramenta, {Quantifica};

G) – Através da ferramenta, {Resultados}, ativar os resultados globais.

A seguir, são apresentadas as FIG. 47 e 48, com o objetivo de ilustrar as operações anteriormente descritas.

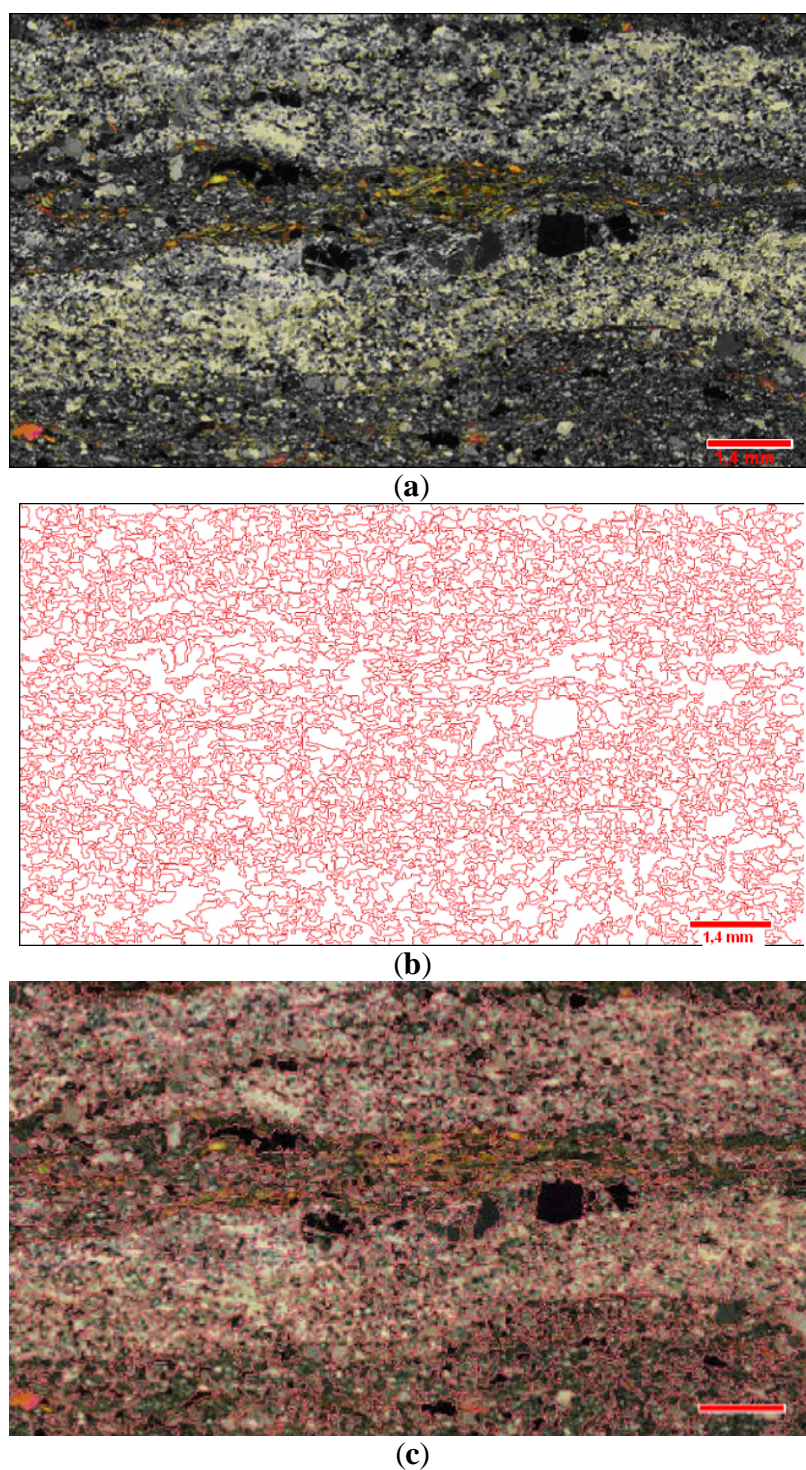
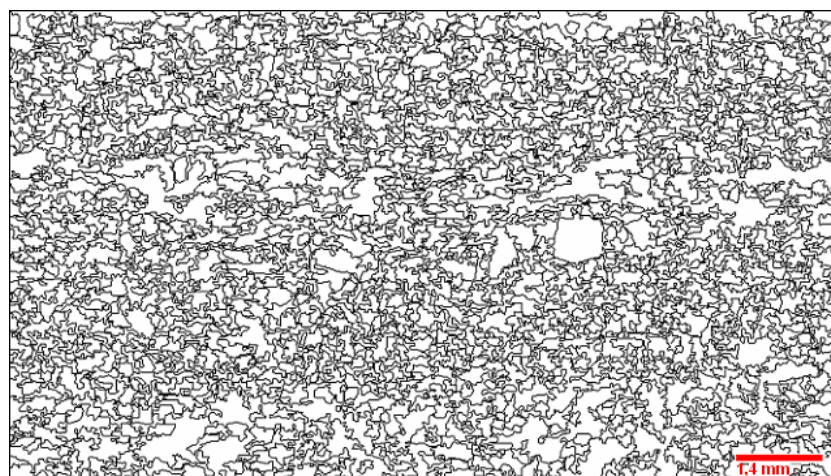
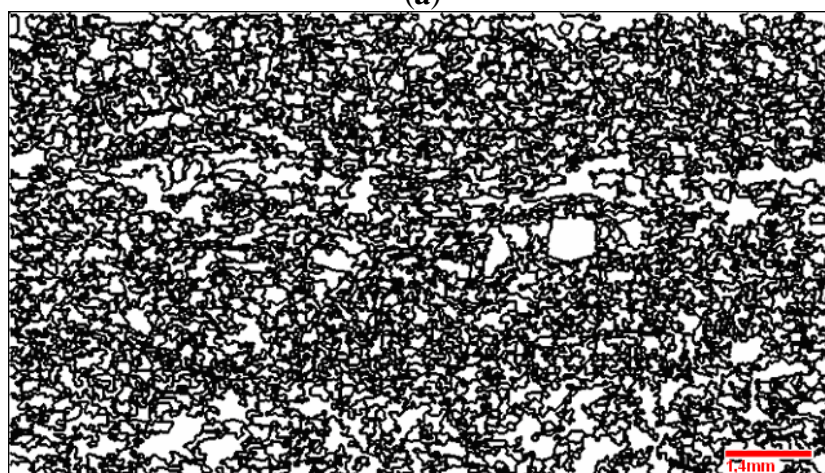


FIGURA 47 - Imagens digitais de seções delgadas de rochas ornamentais

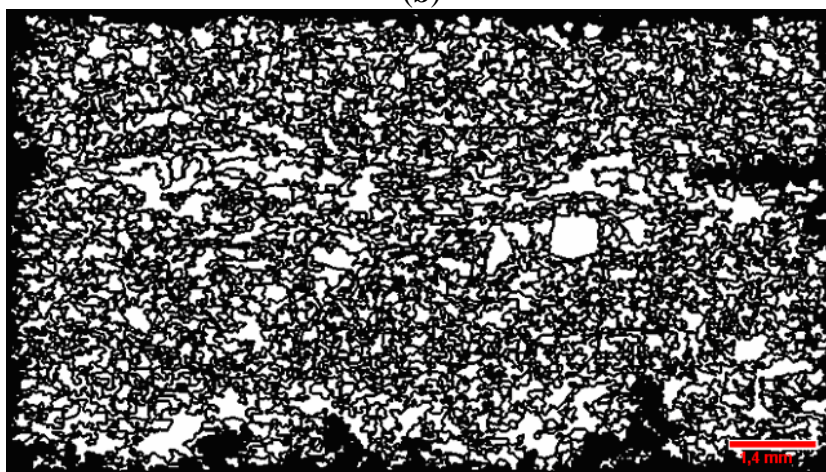
Nota: **a**) – Mosaico da lâmina; **b**) – Imagem da segmentação do contornos dos grãos; **c**) – Imagem “**a**” sobreposta a imagem “**b**”.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 48 - Imagens digitais de seções delgadas de rochas ornamentais, processadas no Programa Quantikov

Nota: a) – Imagem Binária; b) – Imagem dilatada; c) – eliminação dos elementos das bordas.

## 7.5 Resultados

Os procedimentos descritos no item 7.4 (metodologia deste Capítulo) foram repetidos para um total de 20 (vinte) das amostras selecionadas (apresentadas no Capítulo 5). Os resultados foram obtidos através de testes de segmentações das imagens dos mosaicos de suas seções delgadas, seguidas da verificação de sua precisão junto ao microscópio petrográfico.

As segmentações-testes, foram realizadas no programa Spring 4.11 através da ferramenta “segmentação” que permitiu uma melhor calibração desse procedimento, já que é possível variar os valores atribuídos para a similaridade e para a área em pixels. Foi verificada a aplicabilidade do método, para a grande maioria das amostras testadas. No entanto, para certas amostras, verificou-se a inaplicabilidade do método devido às imperfeições observadas para as segmentações dos contornos dos grãos de diferentes minerais.

Essas imperfeições relacionam-se principalmente aos processos de alteração de certos minerais, entre os mais importantes, as alterações dos plagioclásios (relacionadas também à diferença composicional de suas maclas), processos de sericitização e de crescimento de bordas de albita.

Com relação aos grãos de quartzo a quantidade de grãos exibindo extinção ondulante e/ou mirmequitas também interferem de forma negativa para o procedimento de segmentação.

O grau de microfissuramento é outro importante fator de interferência para o processo de segmentação das fotomicrografias dos mosaicos das seções polidas: quanto maior o grau de microfissuramento mais imperfeita a segmentação dos contornos dos grãos dos minerais de maneira geral. As segmentações testadas são como apresentadas nas TAB. 54, 55, 56 e 57, sendo a melhor segmentação marcada em negrito na segunda coluna dos quadros.

TABELA 54

Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras CA\_07, SE, ES, GBR\_04 e GBR\_01

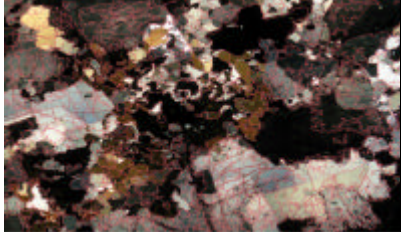
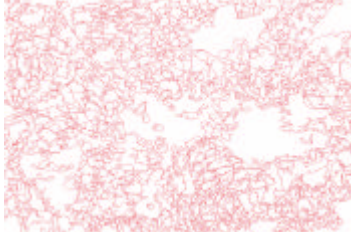

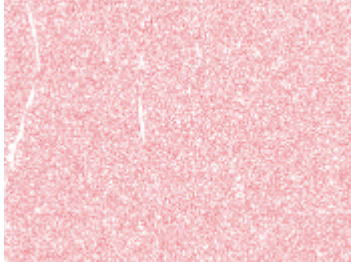
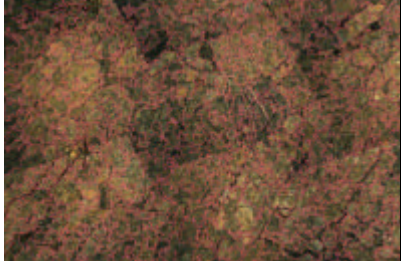
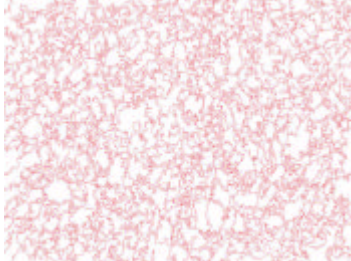

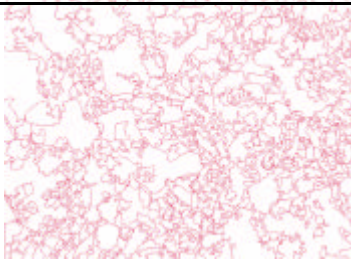
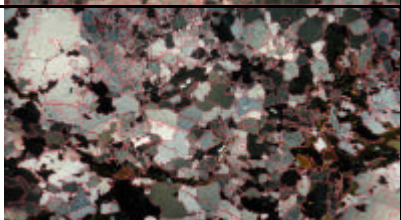
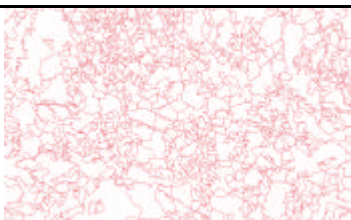
| Amostra | Segmentações Testas                  | Imagem Mosaico + Melhor Img. Segmentada   | Melhor Imagem Segmentada   | Status   |
|---------|--------------------------------------|---|--|--|
| CA_07   | 20_160<br>20_320<br>14_40*           |    |    | Segmentação defeituosa (elevado grau de fraturamento dos grãos e devido aos processos de alterações dos minerais deletérios)<br><b>Não selecionada</b> |
| SE      | 20_100<br>20_50<br>14_60<br>14_40    |   |   | Segmentação satisfatória.<br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| ES      | 20_100<br>20_50<br>14_60<br>14_40    |  |  | Segmentação satisfatória.<br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| GBR_04  | 30_180<br>30_120<br>20_140<br>20_100 |  |  | Segmentação satisfatória.<br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| GBR_01  | 30_180<br>30_120<br>20_140<br>20_100 |  |  | Segmentação satisfatória.<br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |

TABELA 55

Síntese resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras GBR\_03, GBR\_06, RV, GRA\_01, VC\_01 e VC\_04

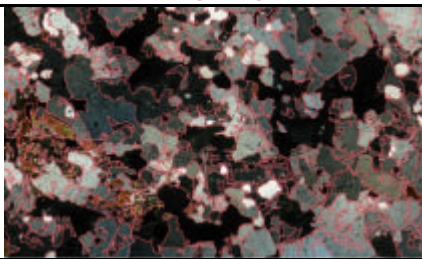
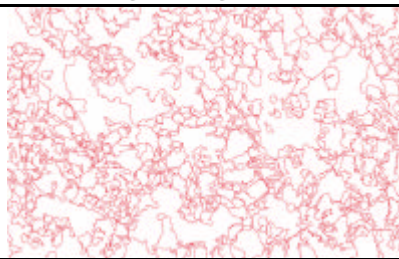
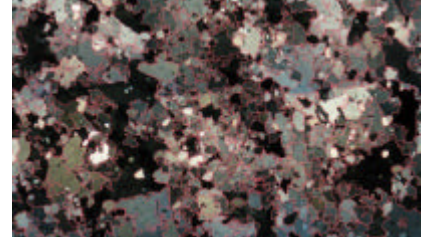
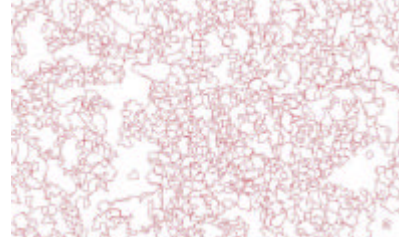
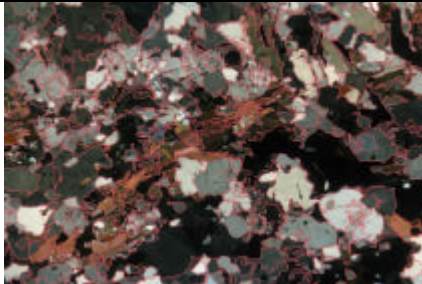
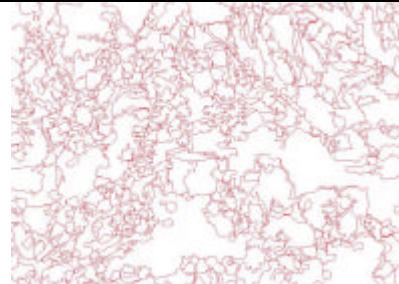
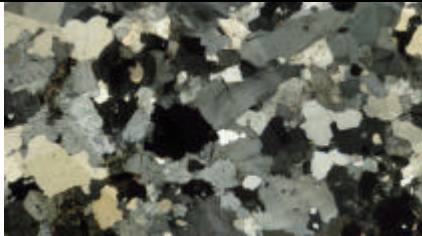
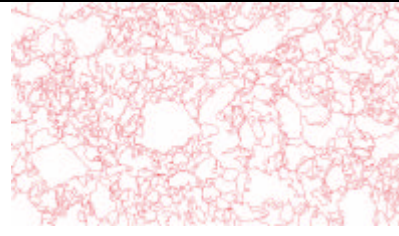
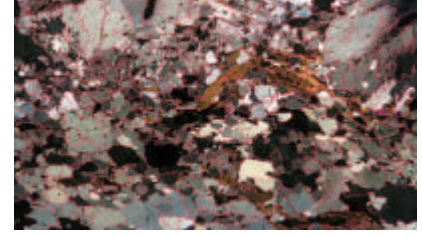
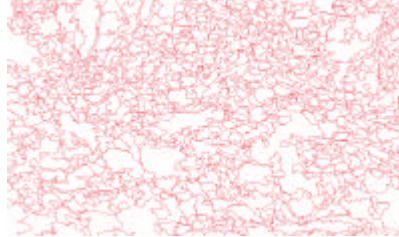
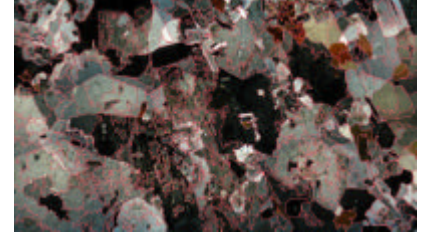

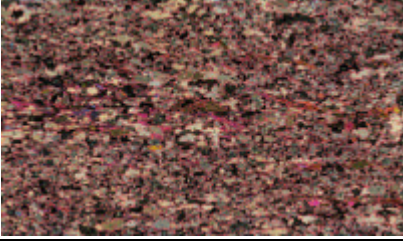
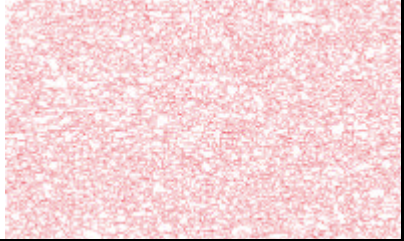


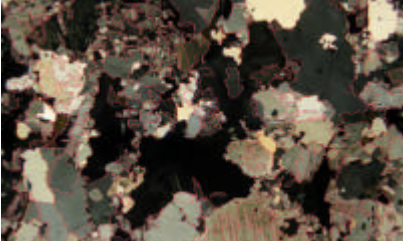

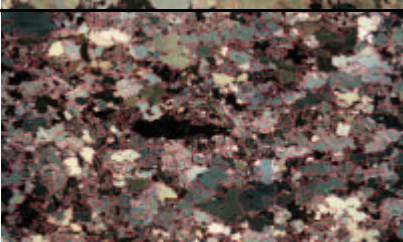
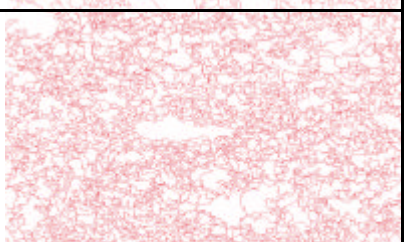
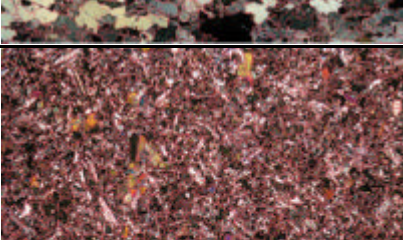
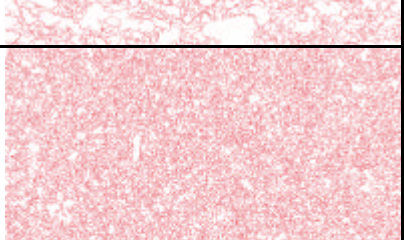
| Amostra | Segmentações Testas                         | Imagem Mosaico + Melhor Img. Segmentada   | Melhor Imagem Segmentada   | Status   |
|---------|---|---|--|--|
| GBR_03  | 30_180<br>30_120<br>20_140<br><b>20_100</b> |    |    | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |
| GBR_06  | 30_180<br>30_120<br>20_140<br><b>20_100</b> |    |    | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |
| RV      | 30_180<br>30_120<br>20_140<br><b>20_100</b> |   |   | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |
| GRA_01  | 30_180<br>30_120<br>20_140<br><b>20_100</b> |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |
| VC_01   | 30_180<br>30_120<br>20_140<br><b>20_100</b> |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |
| VC_04   | 30_180<br>30_120<br><b>20_140</b><br>20_100 |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |

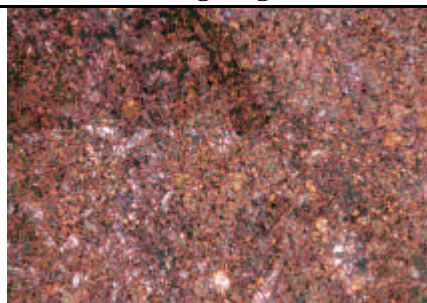
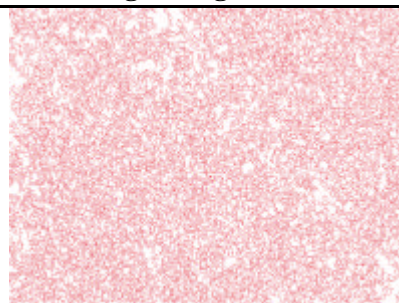
TABELA 56

Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para as amostras VC\_05, VC\_09, RO\_01, BB\_02 e DQ-04

| Amostra | Segmentações Testas                                  | Imagem Mosaico + Melhor Img. Segmentada   | Melhor Imagem Segmentada   | Status   |
|---------|--|---|--|--|
| VC_05   | 30_180<br>30_120<br>20_140<br>20_100<br><b>14_60</b> |    |    | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| VC_09   | 30_180<br>30_120<br><b>20_150</b><br>20_100          |    |    | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| RO_01   | 30_180<br>30_120<br>20_150<br><b>20_100</b><br>14_40 |   |   | Segmentação defeituosa-<br>(interferência devido às alterações e grau de fraturamento)<br><b>Não selecionada</b> |
| BB_02   | 30_180<br>30_120<br>20_150<br><b>20_100</b><br>14_40 |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |
| DQ_04   | 20_100<br>20_50<br>14_60<br><b>14_40</b>             |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b>   |

**TABELA 57**

Síntese dos resultados dos testes das segmentações dos mosaicos das fotomicrografias para a amostra UL.

| <b>Amostra</b> | <b>Segmentações Testas</b>               | <b>Imagem Mosaico + Melhor Img. Segmentada</b>                                    | <b>Melhor Imagem Segmentada</b>  | <b>Status</b>  |
|----------------|--|---|--|--|
| UL             | 20_100<br>20_50<br>14_60<br><b>14_40</b> |  |  | Segmentação satisfatória.<br><br><b>Amostra selecionada para análise</b> |

As amostras, com resultados considerados satisfatórios, para a segmentação dos grãos, tiveram suas análises procedidas conforme a metodologia anteriormente descrita (item 7.4). Para as amostras não selecionadas, foi verificada (que sobretudo, para aquelas de granulação muito grosseira, aquelas com elevado grau de alteração dos minerais deletérios e/ou com elevado grau de microfissuramento) a existência de imperfeições para os teste de segmentação realizados.

A partir das imagens digitais segmentadas, no programa Quantikov, foram procedidos os resultados globais para as imagens segmentadas correspondentes às amostras consideradas como de resultado satisfatório. A seguir, os mesmos são apresentados na TAB 58.



**TABELA 58**

Resultado das microanálises - determinações dos parâmetros discriminantes da forma dos grãos para as amostras analisadas, realizadas através do programa Quantikov

| <b>Amostra</b> | <b>Diâmetro médio (mm)</b> | <b>largura média (mm)</b> | <b>Área média (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Maior diâmetro (mm)</b> | <b>Maior Largura (mm)</b> | <b>Maior Área (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Menor área (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>SDV área</b> |
|----------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| GBR01          | 0,16981                    | 0,26637                   | 0,03954                            | 1,33018                    | 2,89824                   | 1,38967                            | 0,00081                            | 0,09636         |
| GBR03          | 0,13403                    | 0,20951                   | 0,02928                            | 1,90727                    | 3,12139                   | 2,85703                            | 0,00057                            | 0,12405         |
| GBR06          | 0,17651                    | 0,27185                   | 0,041                              | 1,61576                    | 2,53484                   | 2,05042                            | 0,00114                            | 0,09764         |
| GRA01          | 0,16258                    | 0,25466                   | 0,04148                            | 1,51425                    | 3,14489                   | 1,80089                            | 0,00083                            | 0,12127         |
| GRA03          | 0,11016                    | 0,17621                   | 0,01443                            | 0,95782                    | 1,78781                   | 0,72055                            | 0,00112                            | 0,03196         |
| VCO01          | 0,15477                    | 0,250667                  | 0,03377                            | 2,07061                    | 2,56436                   | 3,36736                            | 0,00094                            | 0,12589         |
| VCO04          | 0,24615                    | 0,39961                   | 0,08859                            | 2,85506                    | 3,74211                   | 6,40209                            | 0,00187                            | 0,28584         |
| VCO05          | 0,15026                    | 0,24767                   | 0,02434                            | 0,79221                    | 2,35592                   | 0,49291                            | 0,00177                            | 0,03437         |
| VCO09          | 0,16419                    | 0,27514                   | 0,05405                            | 2,00924                    | 3,18066                   | 3,1707                             | 0,00079                            | 0,22256         |
| GBR04          | 0,39916                    | 0,63911                   | 0,25239                            | 3,96552                    | 7,47327                   | 12,3507                            | 0,00632                            | 0,82902         |
| BB_01          | 0,165417                   | 0,263751                  | 0,038852                           | 1,838783                   | 4,447189                  | 2,655533                           | 0,001549                           | 0,11355         |
| DQ_04          | 0,120008                   | 0,185122                  | 0,015404                           | 0,707864                   | 1,498413                  | 0,393541                           | 0,393541                           | 0,02537         |
| SE             | 0,060673                   | 0,09015                   | 0,003524                           | 0,197152                   | 0,315791                  | 0,030528                           | 0,000905                           | 0,00376         |
| ES             | 0,180002                   | 0,293041                  | 0,047197                           | 1,016956                   | 1,645002                  | 0,81226                            | 0,001061                           | 0,08703         |
| UL             | 0,125518                   | 0,194369                  | 0,017847                           | 0,942757                   | 2,04435                   | 0,698056                           | 0,002111                           | 0,03534         |

Com base nos valores obtidos pelas caracterizações tecnológicas (apresentados no Capítulo 5), somados aos valores determinantes dos parâmetros discriminantes da forma dos grãos, é possível estabelecer algumas correlações entre as propriedades físico-mecânicas e esses parâmetros. Com essa finalidade, os valores desses resultados, foram organizados na forma de uma tabela e posteriormente (através do emprego do programa SPSS), foi possível estabelecer correlações, sendo as mesmas, apresentadas nas considerações finais.

## **8 -TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E APLICAÇÕES NO SETOR DAS ROCHAS ORNAMENTAIS**

Este capítulo tem como objetivo descrever a utilização de imagens produzidas por sensores remotos (aéreo e orbital) como ferramentas para a detecção de alvos com possível valor para o Setor das Rochas Ornamentais em região do CPCO. A descrição da utilização destas ferramentas tem também o intuito de trazer informações complementares ao mapeamento geológico digital disponível (o Mapa Geológico da CODEMIG, 1:1.000.000 de 2003), devido à baixa densidade de afloramentos por unidade de área, presentes na região do referido centro produtor. Dessa forma, procura-se atingir o terceiro objetivo desta Tese: o uso de técnicas de PDI em escala macroscópica, com aplicação para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais.

Neste capítulo é também apresentado o Sistema de Informações Geográficas SIG, relacionando-o à localização de pedreiras e suas características tecnológicas. Através deste Sistema, são estudadas as suas potencialidades de exploração (em função das características ambientais), e a logística de distribuição (segundo a presença de vias de escoamento). O objetivo é a identificação de áreas ótimas para a produção de blocos e a geração de subsídios para a melhoria da exploração de Rochas Ornamentais.

### **8.1 Contexto da Utilização do Geoprocessamento na Geologia**

Um aspecto importante que motivou esta linha de pesquisa é o fato de que, com o passar dos anos, o geoprocessamento tem-se firmado cada vez mais como ferramenta indispensável para a resolução de muitas questões geológicas. Geólogos em todo o mundo, nas mais diversas áreas de pesquisa, freqüentemente lançam mão do georrecurso. É crescente o número de publicações relacionadas à prospecção geológica, o mapeamento geológico, o monitoramento das atividades vulcânicas, das placas tectônicas, áreas de risco geotécnico, meio ambiente, entre muitos outros. Alguns fatos históricos do meio científico contribuíram para a afirmação desta tendência: a incorporação da banda 7 ao sistema Landsat5 em 1984 se deu em atendimento à comunidade geológica; a 32<sup>a</sup> edição do Congresso Internacional de

Geologia reserva para o Geoprocessamento maior espaço (em número de subseções) se comparada ao número destinado às seções temáticas tradicionais; e o lançamento do sistema ASTER -*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, em dezembro de 1999, que confirma essa tendência de desenvolvimento do sensoriamento remoto para a geologia, visto que este sensor multiespectral, transição para hiperespectral, traz maior número de bandas na região do espectro de interesse para a geologia.

No caso específico do CPCO, este trabalho servirá também para organizar cadastros das pedreiras produtoras, vinculando às regiões de extração aos tipos péticos produzidos, suas características tecnológicas.

Poderá também ser usado para a definição de áreas com potencial geológico favorável aos jazimentos com possível valor ornamental e ainda, no monitoramento do avanço e da abertura das frentes de lavras dos passíveis ambientais decorrentes das minerações, seja pelos empreendedores, seja pelos órgãos de gestão governamentais.

O geoprocessamento inclui procedimentos de coleta, tratamento, análise e representação de dados georreferenciados. Isto significa o emprego de ferramentas de sistema de posicionamento global (GPS), sensoriamento remoto, cartografia digital, SIG e geoestatística. A seguir serão abordados alguns desses recursos de interesse específico para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 8.2 O Sistema de Informações Georreferenciadas – SIG

A escolha da denominação de “Sistema de Informações Georreferenciadas” (SIG) vem da tradução do termo *Geographic Information System* – (GIS), sendo esta a forma indicada nas bibliografias mais recentes. No entanto, outros autores preferem os termos Sistema de Informações Geográficas, Sistema Informativo Geográfico ou ainda Sistema de Informações Georreferenciadas. Os SIG`s são sistemas computacionais usados para a captura, salvamento, checagem, integração, manipulação, análise e disponibilização das informações relacionadas a posições específicas na superfície da terra. Normalmente, os SIG`s são amplamente utilizados para a confecção de mapas de diversos tipos, os quais podem estar representados através de planos de informação: camadas ou *layers*, nos quais cada Plano de Informação (PI) informa sobre um determinado tipo de feição. Os *layers* são organizados com

a finalidade de permitirem consultas, possibilitando, ainda, análises matemáticas, estatísticas, entre outras.

De acordo com Moura (2003), alguns Sistemas de Informações Geográficas ou Sistema Geográfico de Informações são montados com bases cartográficas digitais, associadas a bancos de dados alfanuméricos, sendo este o caso do SIG proposto para o CPCO.

De acordo com Richards (1995), o SIG é desenvolvido para executar operações relativas aos dados contidos em um banco de dados, de acordo com as especificações informadas pelo usuário. O SIG deve ser capaz de realizar operações de filtragem, transformação, classificação e outras, assim como exemplificado no QUADRO 6.

### QUADRO 6

#### Relação das operações de manipulação de dados no SIG

- *Overlay* e interseção dos dados/polígonos; criação de máscara
- Identificação de formas *shapes*
- Identificação de pontos e polígonos
- Determinação de área
- Determinação de distância
- Mapeamento Temático
- Cálculos de proximidade (caminhos mais próximos)
- Procura pelo dado
- Procura por localização
- Procura por atributo (previamente definido)
- Procura por similaridade

Fonte: Richards(modificado), 1995.

### 8.3 Classes de Dados Geográficos

De acordo com Cordeiro et al. (1998), durante a “montagem” de um SIG, os dados geográficos devem ser separados em duas grandes classes: **geo-campos** e **geo-objetos**. Borges (2003) adota para a modelagem de dados geográficos a notação do *Object Modeling*

*Technique for Geographic Applications* (OMT-G), seguindo a mesma separação para as classes. O modelo OMT-G apresenta um conjunto fixo de alternativas de representação geométrica, usando uma simbologia que distingue os geo-campos dos geo-objetos.

Os **geo-campos**, ou campos geográficos, representam a distribuição espacial de uma variável geográfica sobre uma região da superfície da Terra. Borges (2003), caracteriza os geo-campos como uma representação da distribuição espacial contínua de um fenômeno geográfico por sobre o espaço. Qualquer posição no espaço geográfico considerado, deverá compreender um valor da variável representada.

A autora explica que o modelo OMT-G define cinco classes descendentes do geo-campo: isolinhas, subdivisão planar, tesselação, amostras e rede triangular irregular (FIG. 49). Um exemplo de Geo-campo são as curvas de nível – qualquer ponto possui uma cota altimétrica.

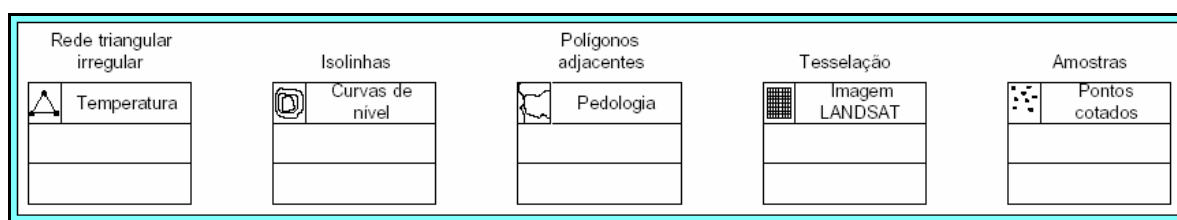


FIGURA 49 - Classes descendentes do geo-campo

Fonte: Borges, 2003.

Um geo-campo pode também ser caracterizado por:

- seu *domínio*, a descrição de uma dada região geográfica  $R$ ;
- seu *contra-domínio*, que reflete o conjunto  $V$  de valores que podem ser assumidos pela variável geográfica.

Dependendo do contra-domínio, pode-se caracterizar as seguintes especializações para os geo-campos:

- 1- **TEMÁTICO**: um geo-campo temático caracteriza-se por um mapeamento no qual  $V$  é um conjunto finito enumerável de elementos que definem os temas de um geo-campo;
- 2- **NUMÉRICO**: um geo-campo numérico (também chamado de modelo numérico de terreno) tem como característica um mapeamento no qual  $V$  é um conjunto de valores reais;

- 3- **DADO DE SENSOR REMOTO:** chamado também (por abuso de linguagem) de imagem, é caracterizado por um mapeamento onde o contradomínio corresponde à quantização da resposta obtida por um sensor para uma região geográfica.

Entre os modos de representação do dado, pode-se optar pelo modelo de dados matricial (raster) ou vetorial. O sistema matricial será detalhado no estudo das imagens.

Os **geo-objetos** representam as entidades individuais do domínio geográfico que possuem atributos descritivos (usualmente armazenados em banco de dados convencionais), podendo assumir várias representações geométricas. Borges (2003) classifica os geo-objetos de acordo com a classificação do modelo OMT-G, a qual considera a existência de duas classes descendentes do geo-objeto.

De acordo com a autora (op. Cit.) “A classe geo-objeto com geometria e geo-objeto com geometria e topologia (FIG. 50). A classe geo-objeto com geometria representa objetos que possuem apenas propriedades geométricas, e é especializada nas classes ponto, linha e objeto. A classe geo-objeto com geometria e topologia representa objetos que possuem, além das propriedades geométricas, propriedades de conectividade topológica, sendo especificamente voltadas para a representação de estruturas em redes tais como sistemas de abastecimento de água ou fornecimento de energia elétrica.”

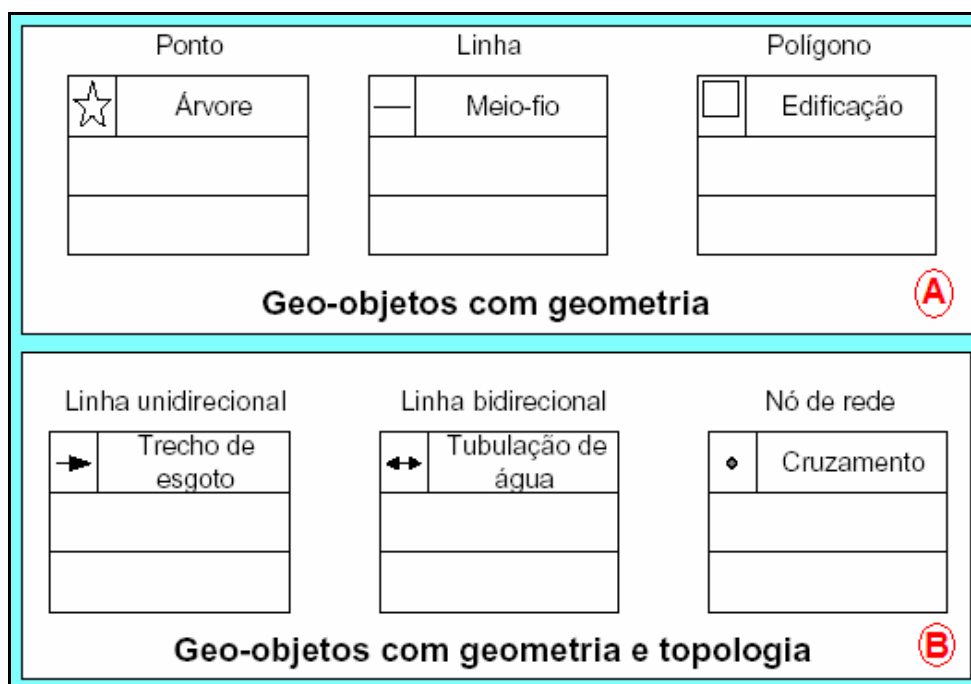


FIGURA 50 - Exemplos de representações de geo-objetos com geometria

Nota: (A) e geo-objetos com geometria e topologia (B).

Fonte: Borges (modificado), 2005.

### 8.3.1 Relacionamentos

De acordo com Borges (2005), o modelo OMT-G representa três tipos de relacionamentos entre suas classes:

- i) – associação simples;
- ii) – relacionamentos topológicos em rede;
- iii) - relacionamentos espaciais.

Discriminações desses relacionamentos, definem explicitamente o tipo de interação que ocorrem entre as classes.

Com base na autora (op cit.), tem-se “No modelo OMT-G, associações simples são indicadas por linhas contínuas, enquanto relacionamentos espaciais são indicados por linhas pontilhadas. Isso torna fácil a distinção visual entre relacionamentos baseados em atributos alfanuméricos e baseados na localização e forma geométrica dos objetos. O nome do relacionamento é anotado sobre a linha, e uma seta usada para deixar clara a direção de leitura.

Os relacionamentos de rede são relacionamentos entre objetos que estão conectados uns com os outros. Relacionamentos de redes são indicados por duas linhas pontilhadas paralelas, entre as quais o nome do relacionamento é anotado. Os relacionamentos são em geral especificados entre uma classe de nós e uma classe de arcos, mas estruturas de rede sem nós podem ser definidas, especificando um relacionamento recursivo sobre uma classe de arcos.” A FIG. 51, representa esses relacionamentos de classes.

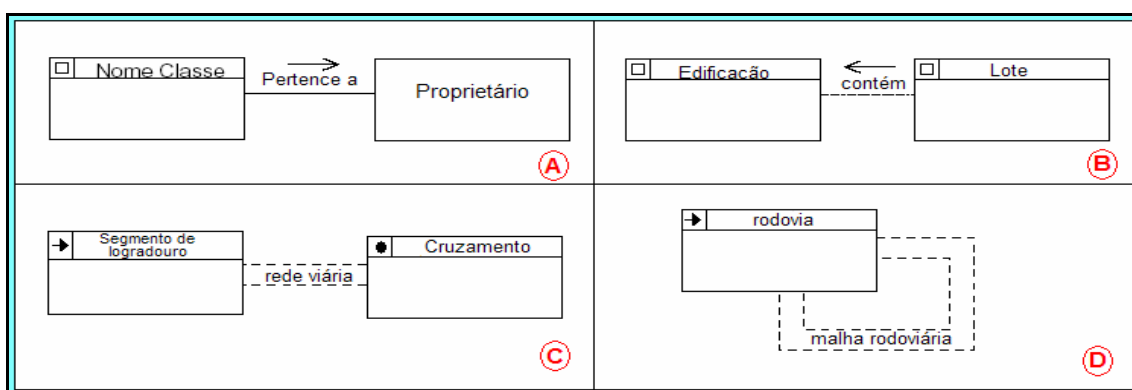


FIGURA 51 - Relacionamento entre classe

Nota: (A) Associação simples, (B) Relacionamento espacial, (C) Relacionamento de rede arco-nó e (D) Relacionamento de rede arco-arco.

Fonte: Modificado de Borges,2005.

## 8.4 Imagens Digitais de Sensor Remoto

As representações *raster* (ou matriciais) são modelos entendidos como uma abstração do mundo real, no qual os dados espaciais são expressos na forma de matrizes e de células. Apresenta composição espacial associada à indexação dos *pixels*, o que permite que as informações espaciais sejam individualizadas em unidades discretas e torna os arquivos *raster* particularmente compatíveis para determinados tipos de operações espaciais, como por exemplo *overlay* e operações algébricas.

Os *pixels* significam a contração das palavras *picture element*. O *pixel* refere-se à menor unidade de informação disponível em sua imagem digital ou mapa *raster*.

Conforme Moura (2003), a vantagem da adoção do sistema *raster* está na possibilidade de se modelar o dado desde sua representação inicial até seu cruzamento com outros dados.

O uso mais reconhecido da representação *raster* está associado às imagens de satélite, que são compostas por diversas bandas, visualizadas na forma de composições coloridas carregadas nos canais RGB. São produto do imageamento por satélite, através das gravações das reflectâncias espectrais ou da intensidade de emissão de irradiação de um dado objeto ou área selecionada, sendo caracterizadas como matrizes de pontos ou *pixels*.

As imagens digitais são normalmente constituídas por uma ou mais bandas espectrais. Para cada banda, um determinado *pixel* traz um valor individual que representa a intensidade média da reflectância espectral dos objetos contidos naquele *pixel*.

As imagens têm suas aplicações e potencialidades definidas pelas resoluções espaciais e espectrais. A resolução espacial refere-se à área da superfície representada por um *pixel* da imagem, como no caso da imagem Landsat que apresenta resolução espacial de 30 metros. Uma maneira comum de se medir a resolução espacial é através do Campo Instantâneo de Visão – IFOV - *Instantaneous Field of View* (Land, 2006).

Mailard (2000) define “*Resolução espectral: Exprime a largura das bands espectrais nas quais as imagens são adquiridas; quanto menor a banda espectral, melhor a resolução.*”

*Resolução radiométrica: é a capacidade de dividir o sinal recebido em o maior número possível de níveis. Uma resolução espacial ou espectral muito fina não adianta se elas elas significam a resolução exagerada da resolução radiométrica. Resoluções radiométricas típicas são de 6bits (SPOT), 8bits (Lansat TM) ou 16bits (Radar).*



*Resolução temporal: é o tempo de retorno da plataforma no mesmo lugar, quanto maior esse tempo, pior é a resolução temporal.”*

O sistema de captura de imagens Landsat foi o escolhido para utilização no presente trabalho, em função de sua disponibilidade e características compatíveis com estudos de cunho geológico.

Os recursos terrestres provenientes do Sistema Landsat foram os primeiros desenvolvidos para a realização de uma cobertura/varredura da superfície do globo terrestre, a partir de uma base regular. Dessa forma, tornaram-se o “carro chefe” dos sistemas de aquisição de imagens para fins de sensoriamento remoto, principalmente durante as décadas de 1980 e 1990.

Os três primeiros Landsat tiveram suas características de órbita idênticas, assim como apresentado no QUADRO 7. Todos os três satélites foram programados para adquirirem as imagens às 9:30 hs. local, em sentido descendente (Norte-Sul).

### QUADRO 7

Características e órbitas do Sistema Landsat (1, 2 e 3)

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Órbita</b>             | Sincronizada ao sol, perto do polo; nominal às 9:30 (hora local), descendente no sentido de cortar o Equador, inclinada aproximadamente 99° em relação ao Equador. |
| <b>Altitude</b>           | 920 km   |
| <b>Período</b>            | 103 min.   |
| <b>Ciclo de repetição</b> | 14 órbitas por dia   |

Fonte: Richards, 1995.

A segunda geração dos LandSat (4, 5 e 6) apresenta características das órbitas diferentes da primeira geração, sendo suas características representadas conforme o QUADRO 8.

## QUADRO 8

### Características e órbitas do Sistema Landsat (4, 5 e 6)

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Órbita</b>             | Sincronizada ao sol, perto do polo; nominal às 9:30 (hora local), descendente no sentido de cortar o Equador, inclinada aproximadamente 99° em relação ao Equador. |
| <b>Altitude</b>           | 705 km   |
| <b>Período</b>            | 98,9 min.  |
| <b>Ciclo de repetição</b> | 14,56 órbitas por dia  |

Fonte: Richards, 1995.

Três instrumentos de imageamento complementares foram usados nos satélites LandSat. São eles: o *Return Beam Vidicon* (RBV), o *Multispectral Scanner* (MSS) e o *Tematic Map* (TM). O Sensor de Mapeamento Temático é um dispositivo mecânico de escaneamento para o *scanner* multiespectral (MSS), incorporando, no entanto, características espectrais, espaciais e radiométricas. (Landsat, 2005).

Sete bandas cobrem uma determinada região do espectro refletido. Ao contrário dos MSS, o sensor TM adquire os dados em duas direções de escaneamento recobrando simultaneamente uma área de 185 km de largura. Dezesesseis linhas de escaneamento são adquiridas de forma simultânea, conferindo uma espessura de 480 m. Isso permite uma menor taxa de espelhamento do *scanner*, se comparado ao MSS, o que resulta em um aumento da resolução espacial.

### 8.5 Modelo de Dados Vetoriais

Os modelos de dados do tipo vetor (ou vetorial) podem também serem compreendidos como abstrações do mundo real, nas quais as informações são representadas por vértices.

Os dados vetoriais têm como unidades espaciais básicas representações tais como: pontos, linhas e polígonos. Cada uma dessas unidades é constituída por uma série simples de um ou mais vértices com coordenadas. Por exemplo: uma linha é definida por seus vértices. Os dados vetoriais podem ter ou não correlações topológicas.

A FIG. 52 ilustra o conceito dos dados vetoriais representados em Planos de Informação (PI) distintos.

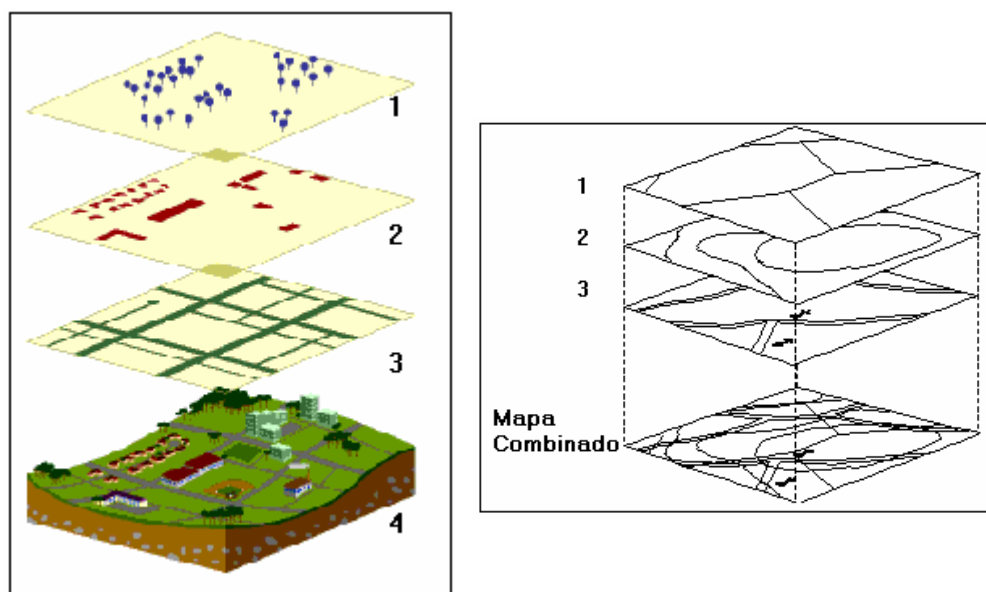


FIGURA 52 - Representações de exemplos de dados vetoriais, na forma de Planos de Informação (PI)

Fonte: AGI GIS Dictionary (modificado), 1996.

## 8.6 O Sistema de Processamento de Imagens - Spring

O Sistema de Processamento de Imagens - Spring é um GIS com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. É um produto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), tendo sido projetado na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) com a participação da EMBRAPA/CNPTIA - Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura, IBM Brasil - Centro Latino Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa, TECGRAF - PUC Rio - Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica da PUC-Rio e da PETROBRÁS/CENPES - Centro de Pesquisas Leopoldo Miguez. O principal objetivo do projeto Spring é construir um sistema de informações geográficas para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional. Outro objetivo do programa é tornar amplamente acessível para a comunidade brasileira um SIG de rápido aprendizado, além de fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais.

A escolha do Spring se deu por ser um programa capaz de executar todas as funções de um SIG, sendo o mesmo um produto nacional e de livre domínio, disponível na rede em sua versão 4.11.

## 8.7 Materiais e Métodos Envolvidos

Este item tem como objetivo a apresentação dos materiais envolvidos, assim como a divulgação das fontes (endereços eletrônicos), nos quais é possível obter de forma gratuita uma série de arquivos digitais (vetores e *rasters*), para a utilização como ferramentas de construção de bases de georrecurso, para aplicações que beneficiem o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais.

### 8.7.1 Imagem LANDSAT 5 TM

A base de dados foi composta por imagens produzidas por sensor remoto atuando na região do espectro do microondas - imagem Landsat 5, convertida em imagem digital – arquivo *raster*.

A cena utilizada corresponde à órbita 217, ponto 019 (WRS), tendo sido gentilmente cedida pela CPRM. Para o processamento foram utilizadas as bandas 1,2,3,4,5 e 7.

**TABELA 59**

Características espectrais e espaciais, do sensor TM

| <b>Banda</b> | <b>Faixa Espectral (nm)</b> | <b>Região do Espectro</b> | <b>Resolução Espacial (metros)</b> |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1            | 453 – 515                   | Azul                      | 30                                 |
| 2            | 525 – 605                   | Verde                     | 30                                 |
| 3            | 630 – 690                   | Vermelho                  | 30                                 |
| 4            | 760 – 900                   | IV/Próximo                | 30                                 |
| 5            | 1550 – 1750                 | IV/Médio                  | 30                                 |
| 7            | 2090 – 2350                 | IV/Médio                  | 30                                 |

Fonte: Landsat, 2005.

### 8.7.2 Dados Provenientes do Levantamento Aerogeofísico da CODEMIG

Os dados dos sensores aeromagnéticos e gamaespectrométricos, foram gentilmente cedidos pela CODEMIG. Estes dados são parte dos resultados do Levantamento Aerogeofísico de sete áreas de Minas Gerais (FIG. 53 A e B), realizado nos anos de 2001 e 2002 e que constituem em importante iniciativa da Secretaria de Estado de Minas e Energia – SEME e do Governo de Minas Gerais, tendo sido o mesmo executado pela Lasa Engenharia e Prospecções.

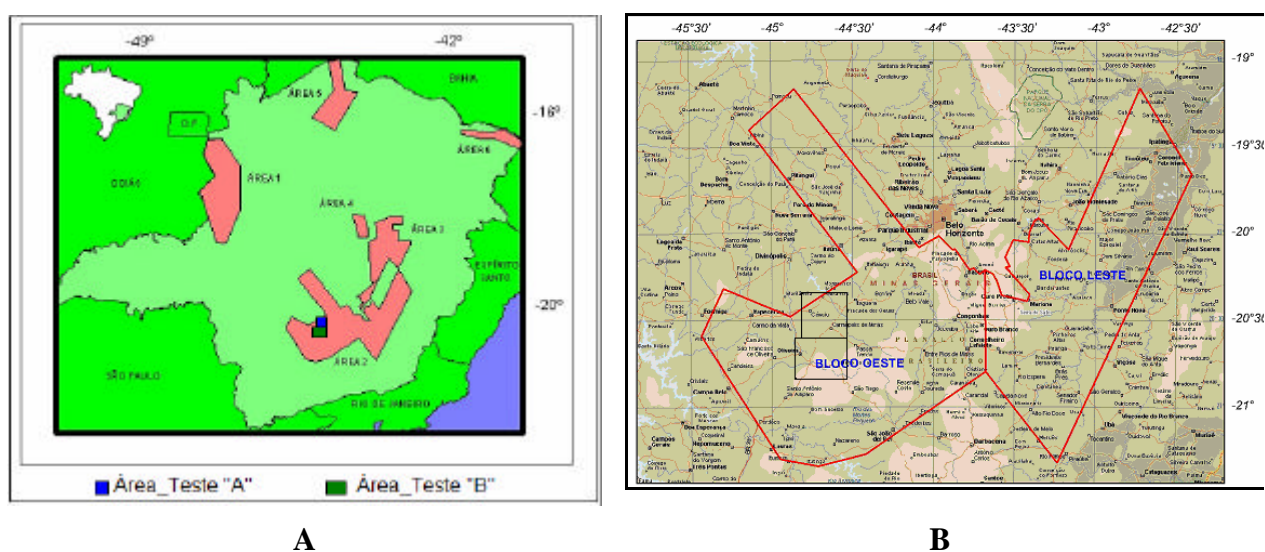


FIGURA 53 A e B - Localização da **Área 2** no Estado de Minas Gerais

Fonte: Minas Gerais (modificado), 2001.

O texto técnico do Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, para a Área 2, apresenta um recobrimento de 155.261,29 km de perfis aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de vôo e controle espaçadas de 250 m e 2.500 m, respectivamente. Para a região denominada por este Levantamento como Bloco Oeste (correspondendo a uma cobertura superior a 70% do CPCO), as linhas foram orientadas segundo direção N30E, sendo a altura de vôo foi fixada em 100m sobre o terreno. (Minas Gerais, 2001).

Ao longo dos perfis foram realizadas dez leituras do aeromagnetômetro e uma leitura do gamaespectrômetro por segundo, posicionadas com sistema de satélite GPS, de precisão melhor do que 10m. Os dados foram registrados a bordo da aeronave, digital e analogicamente, por sistema de aquisição específico.

O processamento dos dados (realizado pela Lasa Engenharia) foi desenvolvido no escritório sede da LASA no Rio de Janeiro, e envolveu a aplicação das rotinas do sistema *Geosoft Oasis* (versão *Montaj*), utilizado para compilação das informações coletadas e apresentação dos resultados na forma dos mapas de contorno.

No caso específico desta tese de doutorado, foram utilizados os produtos no formato *raster*: mapa do campo magnético total, mapa da 1ª derivada vertical do sinal analítico do campo magnético total e mapa gamaespectrométrico do canal potássio.

### 8.7.3 Base Cartográfica vetorial – Geominas

O estado de Minas Gerais já conta com coleção de arquivos vetoriais digitalizados a partir dos mapas topográficos do IBGE, em escala 1:50.000 e 1:100.000. Trata-se do projeto Geominas, que em 1995 organizou, produziu e disponibilizou as informações com atributos associados, permitindo tanto o aproveitamento dos dados cartográficos, como também das associações de tabelas alfanuméricas. Esses dados foram disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento - Departamento de Cartografia da UFMG.

É importante destacar que o mencionado projeto apenas vetorizou os mapas do IBGE existentes, cujas elaborações datam das décadas de 60 e 70. O fato dos produtos digitais serem atuais não significa o mesmo quanto às informações representadas.

### 8.7.4 SRTM (drenagens e MDE)

A missão do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da NASA, por meio da tecnologia da interferometria, coletou dados entre os dias 11 e 22 do mês de fevereiro de 2000, com uma cobertura de aproximadamente 80% da superfície do globo terrestre. Para a América do Sul, os dados altimétricos disponíveis apresentam uma resolução espacial de aproximadamente 90m.

Moura et al (2005), ressalta a discrepância existente entre os dados vetoriais obtidos a partir do IBGE (Geominas) e os vetores gerados a partir das imagens SRTM para a representação da rede de drenagem.

Essa discrepância foi também observada para os dados do Geominas disponíveis para a região do CPCO, justificando assim o uso do dado do SRTM não só para subsidiar a construção da rede hidrográfica, mas também para a confecção das curvas de nível, visto que os métodos empregados utilizam dados de livre distribuição na *web* através do endereço eletrônico <http://srtm.usgs.gov>.

Para a composição do modelo digital de elevação da Região do CPCO, foram utilizados dados da banda C. Uma vez elaborado o modelo numérico de terreno foram geradas as curvas de nível e a hidrografia, procedimentos desenvolvidos no programa Spring 4.11.

### 8.7.5 Georreferenciamento da Imagem

Inicialmente, com a utilização do programa Mapinfo, dados vetoriais do projeto Geominas foram exportados para a extensão DXF e compuseram planos de informação (PI's) de drenagens e rodovias.

Para o georreferenciamento da imagem correspondente à área definida para o projeto, foi usada a interface de registro do Spring 4.11, com o registro de imagens a partir dos mencionados planos de informação contendo drenagens e rodovias/vias.

Com a finalidade de melhorar a precisão do registro, foram ainda adquiridos, durante as etapas de campo, pontos de controle por GPS, relativos às posições das minas e de uma seleção de pontos de referência. Estes dados (coordenadas em UTM) permitiram que as informações para o georreferenciamento da imagem fossem atribuídas diretamente, pela via do teclado – através do modo tela, que é uma outra interface alternativa para o registro de imagens disponível no Spring.

## 8.8 Uso do Sensoriamento Remoto na Prospecção Geológica de Alvos com Valor Ornamental

Este item aborda a aplicação de técnicas de geoprocessamento, sobretudo relativos ao uso dos dados de sensores remotos (imagem do sensor TM (Landsat5) e o Levantamento Aerogeofísico (Minas Gerais, 2001) e técnicas de PDI, para a identificação de alvos com possível valor ornamental para a exploração de Rochas Ornamentais, no CPCO.

O uso do geoprocessamento para a identificação de alvos com valor ornamental é proposta inovadora, podendo ser revertida em ganho para o empreendedor, eliminando fases durante a etapa de prospecção mineral, pois favorece a definição de novas áreas com potencial para a exploração de Rochas Ornamentais, evitando investimentos desnecessários durante a pesquisa.

Como processo metodológico foram realizados procedimentos laboratoriais seguidos de etapas de campo visando à verificação das ocorrências e calibração das técnicas de segmentação e de classificação de imagens de satélite, bem como a checagem dos dados aerogeofísicos.



A fonte de dados foi composta por uma imagem Landsat 5, levantamento aerogeofísico (Minas Gerais, 2001) e base cartográfica vetorial (Geominas), trabalhadas nas seguintes etapas:

### 8.8.1 Laboratório – Processamento Digital de Imagens (PDI)

A partir da aquisição da cena bruta, a área do projeto foi delimitada e georreferenciada, correspondendo a aproximadamente 7.470 Km<sup>2</sup>, com base na localização das principais jazidas do CPCO. Em seguida foram definidas as duas sub-áreas A e B (FIG. 54), com a finalidade de testar técnicas de PDI, sobretudo a classificação de imagens e a integração dos dados aerogeofísicos, para a definição de alvos (regiões) com possível valor ornamental.

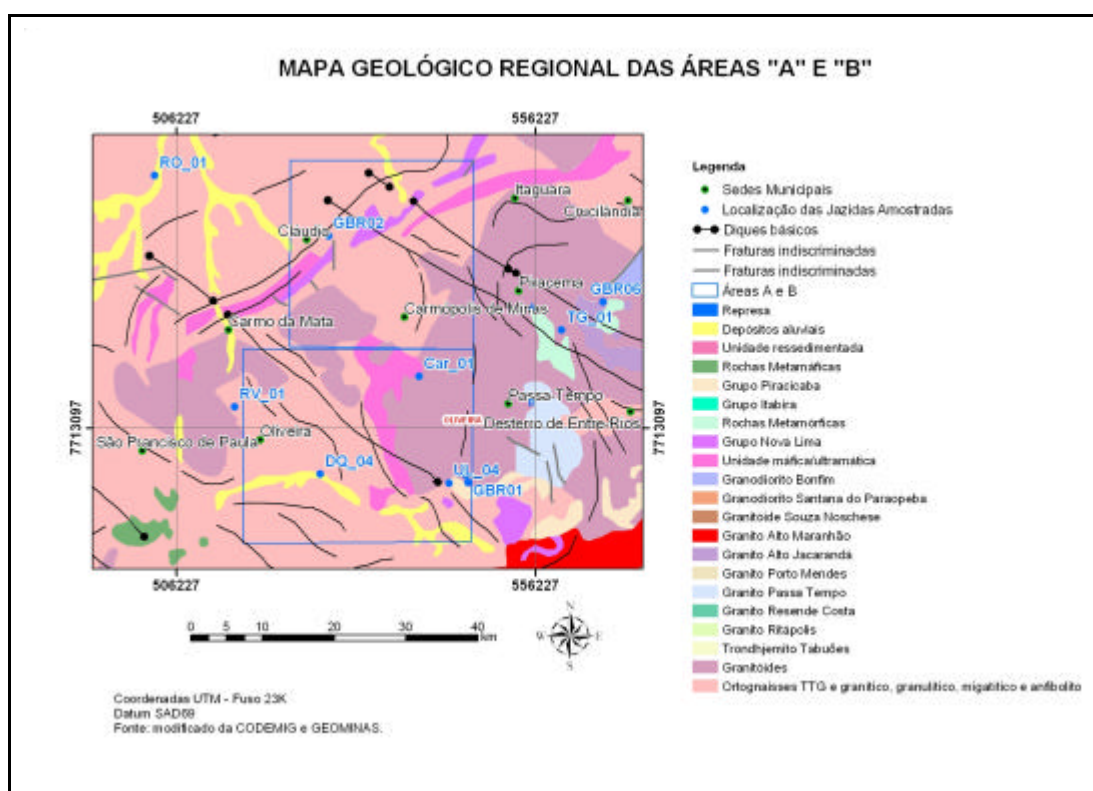


FIGURA 54 - Localização das duas sub-áreas "A" e "B" definidas para teste, no CPCO.

Harris *et al.* (1990), ressaltam o emprego das técnicas e dos procedimentos de PDI, para aplicação na geologia, em especial as técnicas de composição de bandas, segmentação de imagens, classificação de imagens e fusão de dados. Algumas dessas técnicas

foram empregadas no presente trabalho para o processamento digital de imagens provenientes dos sensores remotos previamente selecionados, com a finalidade de integrar os diferentes dados (visto que estes dados possuem diferentes resoluções espaciais), objetivando a identificação de alvos com possível valor ornamental.

A seguir, são apresentadas as definições técnicas e possíveis aplicações para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais.

#### 8.8.1.1 Composição de Bandas

Segundo Harris *et al* (1990) as composições de bandas constituem importante forma de sintetizar, em uma única imagem digital, grande quantidade de informação. Ao mesmo tempo em que representam essa informação em padrões de cores diferentes, as imagens digitais permitem e facilitam a interpretação.

Em um primeiro momento, foram utilizadas técnicas de combinação de bandas para a detecção dos alvos com possível valor ornamental, ou seja: afloramentos rochosos. Com a finalidade de ressaltar estes objetos (sobretudo os lajedos e afloramentos dos gnaisses migmatíticos com resolução espacial), foram testadas composições de bandas através do método da tentativa e erro. Os teste envolveram combinações entre as bandas 1,2,3,4,5 e 7 (do sensor TM+) e os canais R,G e B. Alguns dos resultados obtidos são apresentados na FIG. 55.

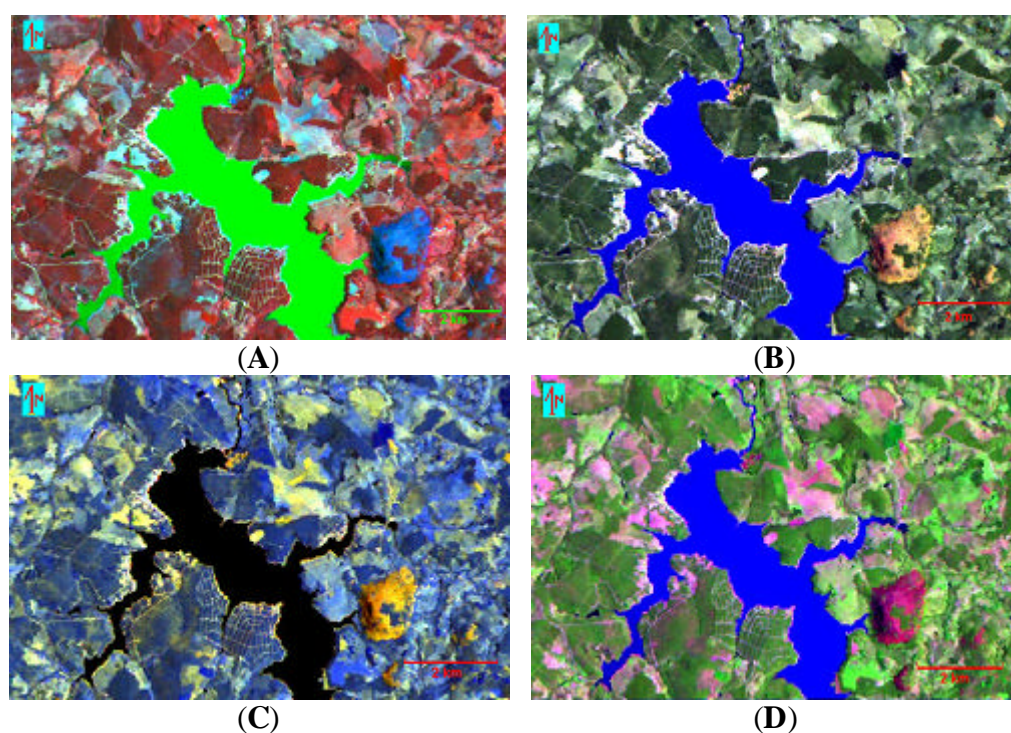


FIGURA 55 - Exemplos de composições de bandas nos canais R,G e B (respectivamente) do sensor TM, da região da represa de Cajuari, MG. No quadrante SE, mega-afloramento rochoso, com possível valor ornamental.

Nota: (A) RGB\_437; (B) RGB\_753; (C) RGB\_754 e (D) RGB\_543.

Após a realização de dezenas de composições de bandas, etapas de campo para checagem dos posicionamentos dos afloramentos com resolução espacial. Foi verificado que o melhor resultado, para a região do CPCO é o da composição de bandas 7,5 e 3 do sensor TM (Landsat 5) nos canais RGB, respectivamente assim como apresentado na FIG. 56 da Área “A”.

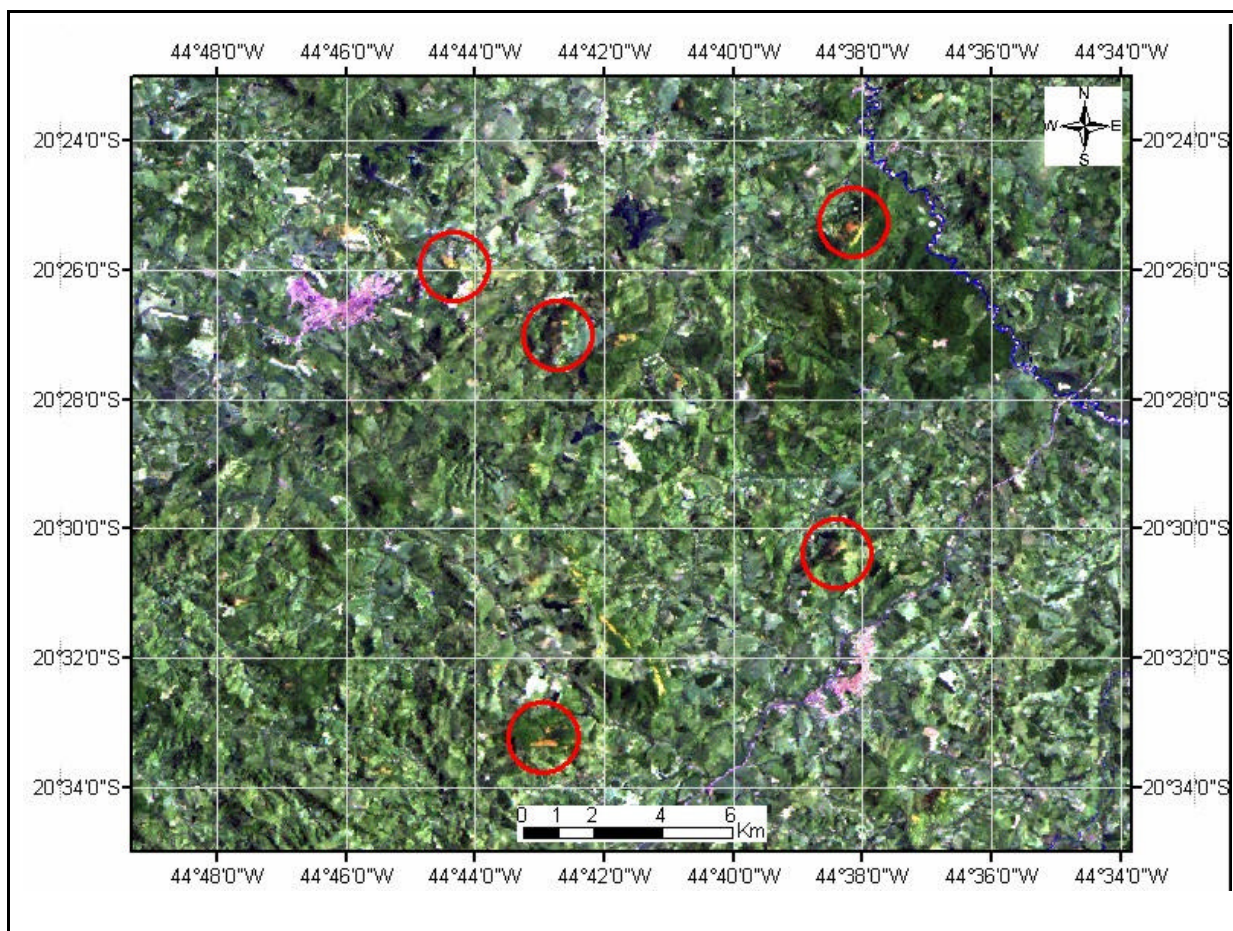


FIGURA 56 - Área teste “A”, resultado da combinação entre as bandas ETM+ 7, 5 e 3, respectivamente nos canais R,G e B

Nota: Os círculos indicam alguns dos afloramentos de gnêsse-migmatíticos checados durante etapas de campo.

### 8.8.1.2 Segmentação de Imagens

O uso de técnicas de segmentação de imagens é normalmente executado antes da fase de classificação das imagens, tendo como objetivo a extração dos objetos relevantes para a aplicação desejada.

Justifica-se o emprego da segmentação no sentido de superar as limitações do procedimento de classificação estatística, visto que o último constitui um processo de análise de *pixels* de forma isolada, apresentando ainda limitação com relação à análise pontual, uma vez que esta trata exclusivamente dos atributos espectrais.

O processo de segmentação divide a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de *pixels* contíguos

que se espalham de forma bidimensional e uniforme. A divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões ou por subdivisões em bacias.

A partir de testes realizados, verificando a boa representação da morfologia de afloramentos rochosos, optou-se pelo processo de crescimento de regiões, no qual apenas regiões adjacentes podem ser agrupadas em função de um critério de similaridade. A região de Marilândia, Distrito de Itapeçerica, MG, foi escolhida como uma das áreas-alvo para a realização do procedimento de segmentação visando à identificação dos afloramentos rochosos, conforme representado na HG. 57. Esta escolha se deu também em função da localização da mina de Marilândia (Jazimento da variedade Rosa Raíssa) e também devido à proximidade das vias de acesso que facilitaram o trabalho de campo nas etapas de validação dos resultados obtidos.

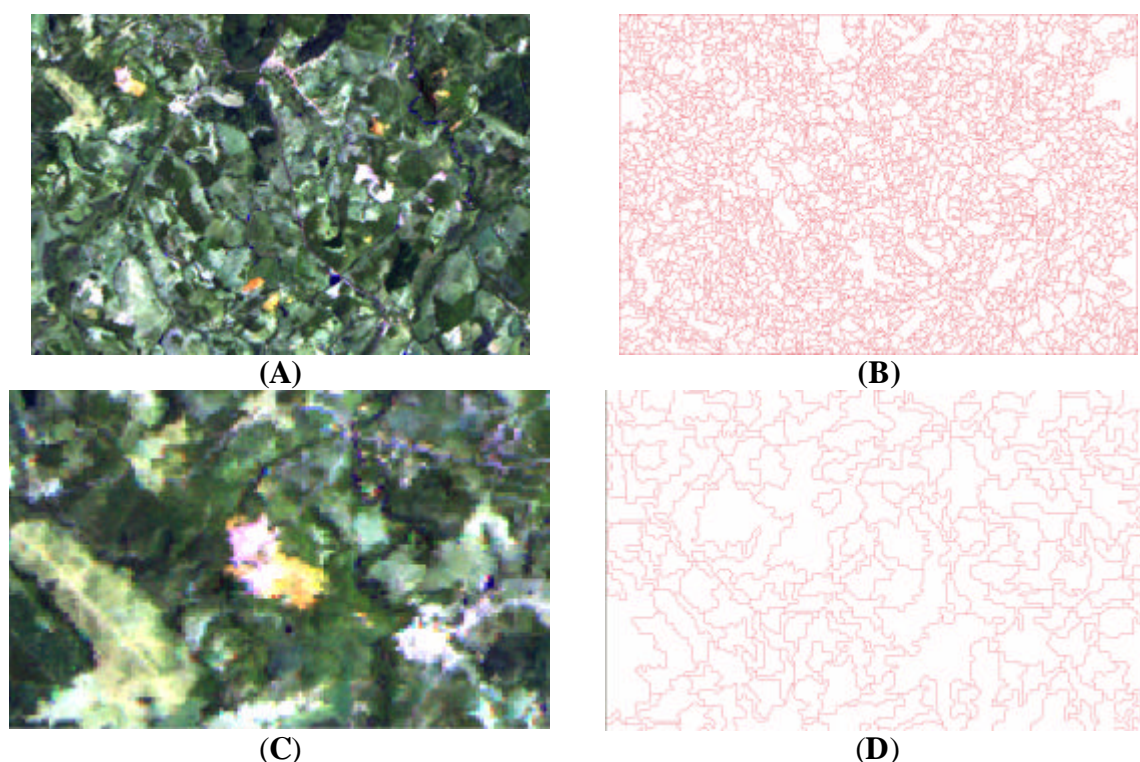


FIGURA 57 - Processo de segmentação de imagem

Nota: (A) imagem ETM+ (RGB 753), (B) Imagem Segmentada, similaridade = 20 e área em *pixels* = 120. (C e D) Detalhe da região da jazida de Marilândia, da variedade Rosa Raíssa.

### 8.8.1.3 Técnicas de Classificação de Imagens

As técnicas de classificação de imagens são utilizadas com frequência em sensoriamento remoto para mapear áreas correspondentes aos temas de interesses. O processo

de classificação permite extrair as informações das imagens no sentido do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos.

Os classificadores podem ser divididos em classificadores *pixel a pixel* e classificadores por região.

Para a classificação das pedreiras e afloramentos da área do projeto optou-se pela utilização do classificador multiespectral por região, devido à característica deste classificador de utilizar a informação espacial que envolve relações com seus vizinhos, além de considerar as informações espectrais de cada *pixel*.

Os classificadores por regiões procuram simular o comportamento de um foto-intérprete reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseado nas propriedades espectrais e espaciais das imagens. A informação das bordas de um conjunto de *pixels* similares é utilizada para separar regiões, unindo áreas com a mesma textura em função de suas características espaciais e espectrais.

O processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza, em cada banda espectral, em um pequeno número de classes em uma única imagem. As técnicas de classificação conhecidas como classificações unidimensionais podem ser aplicadas apenas a uma banda da imagem ou canal espectral. As técnicas definidas como de classificação multiespectral dependem de critério de decisão em função da distribuição dos níveis de cinza nos vários canais espectrais.

O Spring 4.11 dispõe de classificadores do tipo *pixel a pixel* entre eles o MAXVER. Este classificador foi inicialmente usado para a realização de testes de classificação visando a detecção dos afloramentos rochosos. O termo MAXVER vem do método estatístico da Máxima Verossimilhança. O método de classificação considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

O método Maxver exige uma fase inicial, denominada treinamento, na qual o usuário identifica padrões espaciais que representem um determinado tipo de alvo. Assim, se o objetivo é mapear afloramentos, devem ser apontadas regiões que representem estes tipos de ocorrência espacial. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de *pixels* para cada conjunto de treinamento.

Durante o treinamento supervisionado deve-se identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade

dos níveis de cinza do tema em questão. A FIG. 58, representa o resultado da classificação, pelo classificador MAXVER, para a região de Marilândia Distrito de Itapecirica - MG.

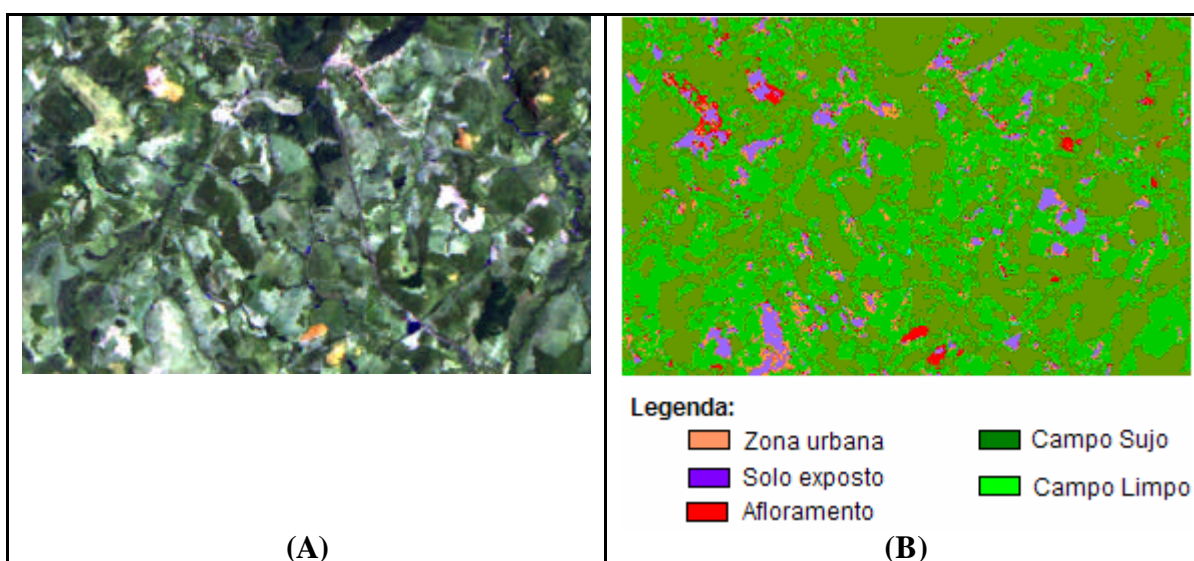


FIGURA 58 - Resultado da classificação *pixel a pixel*, pelo classificador MAXVER, região de Marilândia – MG

Nota: (A) combinação RGB 753, (B) imagem classificada.

Os resultados obtidos apresentaram confusão entre classes temáticas de interesse, quais sejam: solos expostos e afloramentos rochosos. De certa forma esse resultado pode ser explicado, devido ao número reduzido de classes temáticas selecionada para os testes, que ocasionaram em um aumento do grau de confusão entre classes.

Diante do resultado não satisfatório optou-se pelo teste de outro classificador, o Battacharya. De acordo com INPE (2003), “*à medida da distância de Battacharya é usada neste classificador por regiões, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais.*”.

Para a área teste “A” foi utilizada a composição de bandas ETM+ RGB 753. Posteriormente procedeu-se à segmentação e a classificação da imagem, por meio do classificador Battacharya do Spring 4.11. Além da classe temática “afloramentos”, foram criadas outras classes temáticas, com a finalidade de diminuir a confusão entre classes, melhorando a precisão da técnica empregada, como apresentado na FIG. 59.

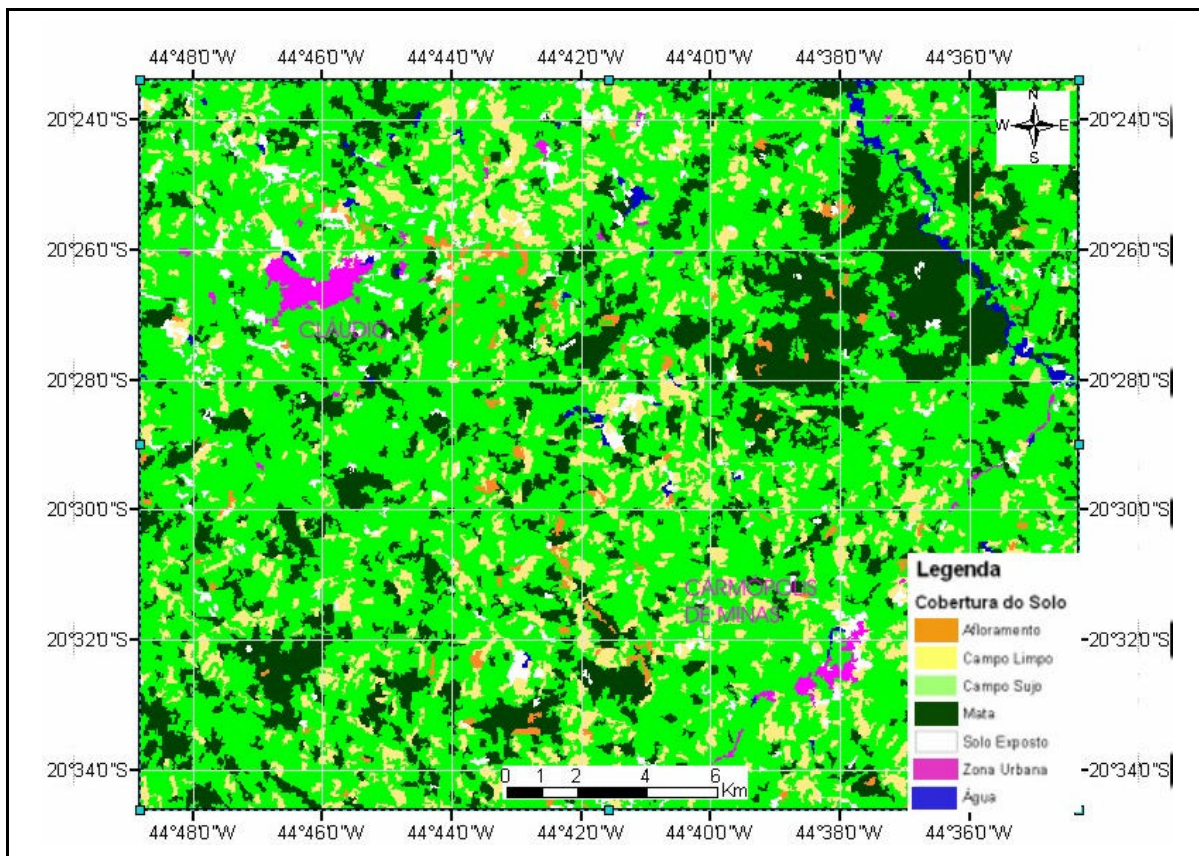


FIGURA 59 - Resultado da classificação da imagem pelo classificador Battacharya para a área “B” a partir de uma composição de bandas RGB 753 do sensor TM.

A Figura 59 representa o melhor resultado obtido pelas técnicas de classificação de imagens disponíveis no Spring 4.2. A partir da classificação supervisionada pelo método de Máxima verossimilhança (MAXVER), foram obtidos o índice Kappa com o intuito de avaliar o resultado da classificação da imagem LANDSAT 5 TM Área “A” . A TAB. 60 apresenta o resultado da matriz de erros de classificação.



**TABELA 60**

Matriz de erros da classificação - desempenho geral: 94.97 % (Índice Kappa); confusão média: 5.03 %.

| <b>Classe Temática</b> | <b>Exatidão do produtor</b> | <b>Exatidão do usuário</b> |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Afloramento</b>     | 100.00%                     | 100.00%                    |
| <b>Campo_Limpo</b>     | 100.00%                     | 91.00%                     |
| <b>Campo_Sujo</b>      | 81.82%                      | 100.00%                    |
| <b>Mata</b>            | 100.00%                     | 93.23%                     |
| <b>Solo</b>            | 92.31%                      | 100.00%                    |
| <b>Zona Urbana</b>     | 100.00%                     | 96.20%                     |
| <b>Água</b>            | 11.11%                      | 100.00%                    |

No entanto esse resultado é considerado insuficiente, devido à confusão observada, entre as classes temáticas: Afloramentos e Campo Limpo.

#### 8.8.1.4 Levantamento Aerogeofísico

Os dados aerogeofísicos possibilitam a identificação e a localização das anomalias referentes aos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Estes dados apresentam diferentes resoluções espaciais, sendo necessário o emprego de técnicas de interpolação e reamostragem. Foram reamostrados para a resolução de 30 metros, para possibilitar o cruzamento com a imagem Landsat.

De acordo com França (2003), a escolha do método de interpolação a ser utilizado depende da aplicação. Para o caso dos sensores selecionados, neste trabalho foi utilizada a técnica de Mather (1999). A escolha do *pixel* comum foi feita com base no erro da ortorretificação da imagem TM, que foi de 29m. Portanto, o *pixel* comum foi de 30m, ou seja a imagem de satélite que possui resolução de 30m e a grade geofísica, que apresentava espaçamento de 250m x 250m com resolução de 60m, foi reamostrada para 30m. As bandas foram realçadas, para melhorar o seu contraste, facilitando a interpretação das feições.

### 8.8.1.4.1 Gamaespectrometria

Quanto aos dados provenientes da gamaespectrometria, ainda para a área “A”, foi selecionado o canal do K, assim como apresentado na FIG. 60.

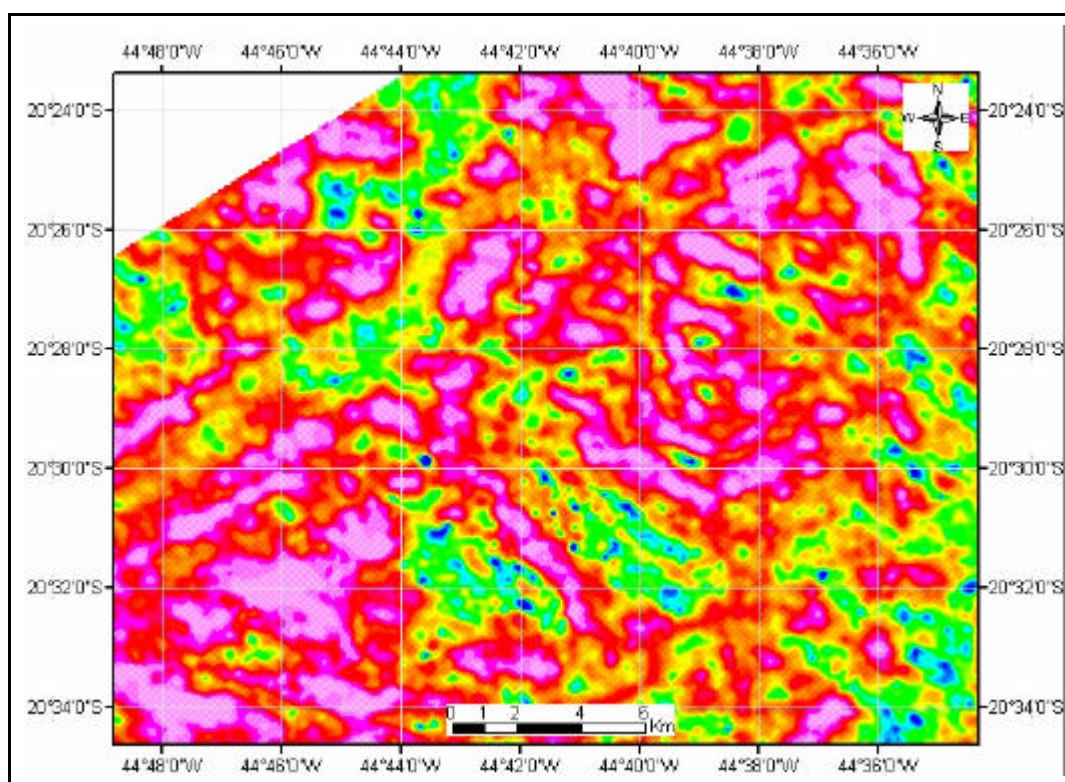


FIGURA 60 - Área Teste “A”, gamaespectrometria canal K

Fonte: Minas Gerais, 2001

Os resultados das análises modais e das estimativas visuais para as amostras desta região do CPCO, indicam uma considerável (mais de 20%) porcentagem dos feldspatos potássicos sobretudo a microclina para estas rochas. Este fato (a composição mineralógica) tem relação direta com o canal K da gamaespectrometria. Dessa forma, foi possível selecionar a faixa relativa ao maior percentual de potássio (FIG. 61) devido à sua direta associação aos terrenos granítico/gnáisse-migmatíticos.

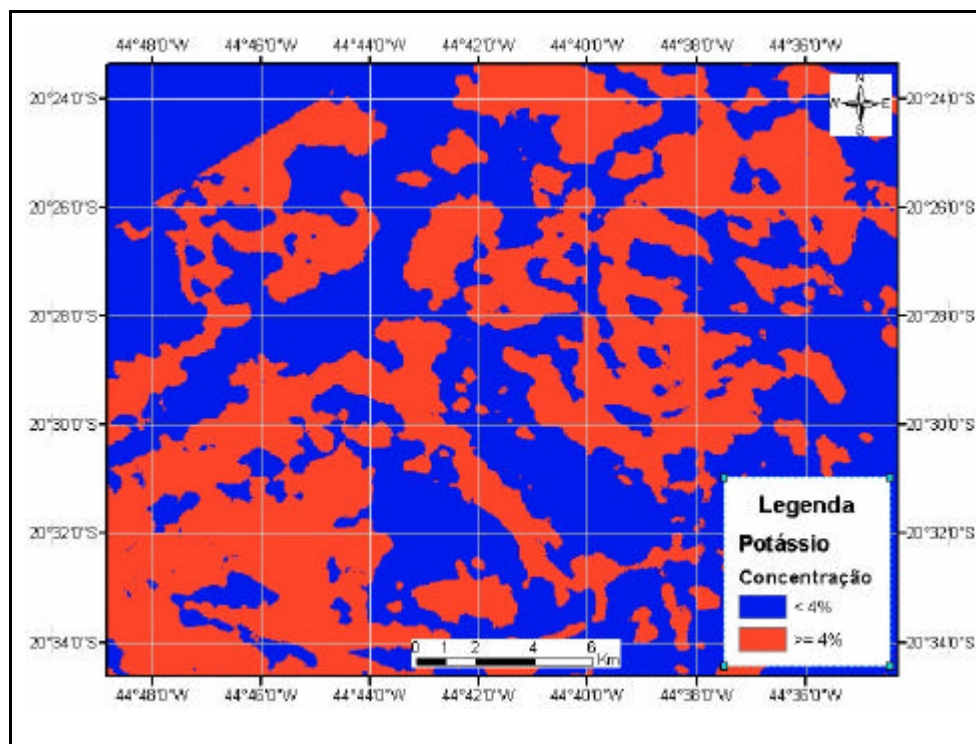


FIGURA 61 - Área Teste "A", maior percentual em K

A FIG. 61 é uma imagem binária, a mesma foi usada como filtro, para melhorar a resposta da classificação apresentada na FIG. 59. O resultado dessa filtragem é apresentado na FIG. 62, a seguir.

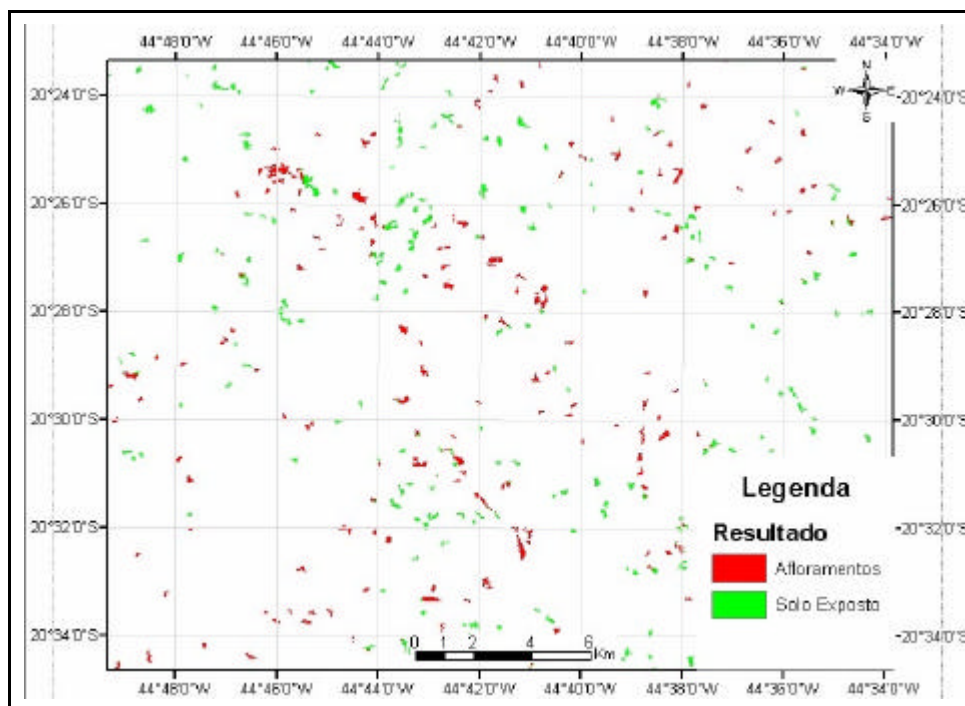


FIGURA 62 - Área Teste “A”, imagem construída a partir da classe temática afloramentos (Fig. 8.10), filtrada através da imagem da Figura 8.12 (maior percentual em K), através do operador booleano “AND”.

#### 8.8.1.4.2 Magnetometria

Para testar a Área “B”, a técnica escolhida objetivou a detecção de outro litotipo com possível valor para o Setor das Rochas Ornamentais, presente nesta região do CPCO: Os diques metabásicos – que dependendo das condições de alteração e fraturamento, podem resultar nos tipos ornamentais negros, como é o caso da variedade comercialmente denominada Preto Piracema.

Existem hoje muitos trabalhos relacionados à utilização de dados magnetométricos para detecção e mapeamento geológico de certas estruturas profundas. Dessa forma, com a finalidade de testar o emprego desse dado aerogeofísico, para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais, foi selecionada para a Área “B”, os dados referentes à Primeira Derivada do Campo Magnético Total (1dv), visando a identificação dos diques básicos (erroneamente conhecidos como “granitos” negros), assim como apresentado na FIG 63, a seguir.

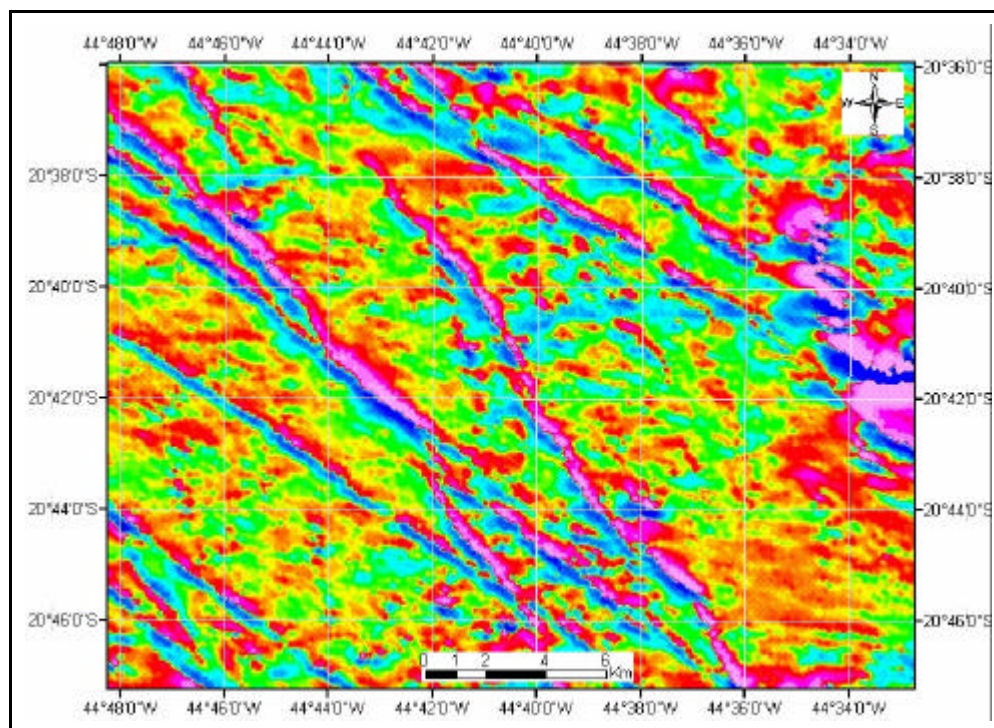


FIGURA 63 - Área “B” Primeira Derivada do Campo Magnético Total (1dv)

A Primeira Derivada do Campo Magnético Total (1dv), pode ser convertida em uma importante ferramenta para o mapeamento dos diques metabásicos, denotados pelos padrões dipolares lineares (de direção preferencial NW-SE), nos quais as regiões azuladas representam uma menor intensidade do campo magnético, enquanto as regiões lineares alongadas de coloração rósea indicam as regiões de maiores intensidades do campo magnético.

No entanto para a região do quadrante sudeste da Área Teste “B”, foi verificada a perturbação do sinal da 1dv, devido a presença de formações ferríferas. Este fato motivou a implementação da fusão do dado magnetométrico com a banda 7 do sensor ETM+.

De acordo com França (2003), a transformação dos componentes vermelho/verde/azul (RGB), nos componentes intensidade/matiz/saturação (do inglês IHS) podem ser utilizados para produzir composições coloridas com reduzida correlação interbanda e conseqüentemente, com melhor utilização do espaço de cores, o que possibilita combinar tipos de imagens de diferentes sensores. Essas transformações são feitas através de algoritmos matemáticos que relacionam o espaço RGB no IHS.

Foi empregada a técnica de processamento digital de imagens a fusão de dados, com o intuito de gerar produtos de fácil interpretação visual. A técnica de fusão de dados mais

comumente empregada neste caso que é a *Transformação IHS* das composições coloridas originais ou das componentes principais, como proposto por Soares et al. (1997).

Para a integração dos dados ETM+ com a magnetometria (1dv), os dados da (1dv) são utilizados como *input* para a transformação RGB=>IHS. Posteriormente, é realizada a transformação IHS=>RGB, colocando a banda 7 na posição do dado (1dv) do canal I. A FIG. 64, esquematiza esses procedimentos, sendo o resultado desta fusão de dados, apresentado na FIG. 65.

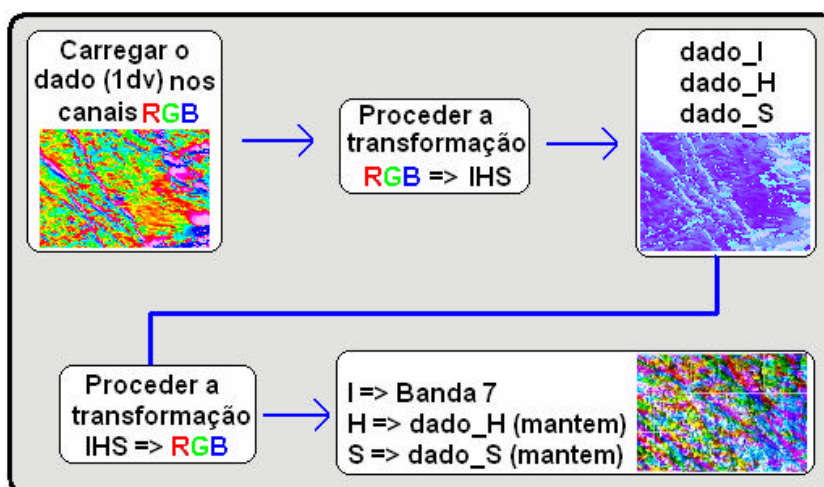


FIGURA 64 - Esquema representativo para a fusão dos dados TM com a 1dv do campo magnético total.

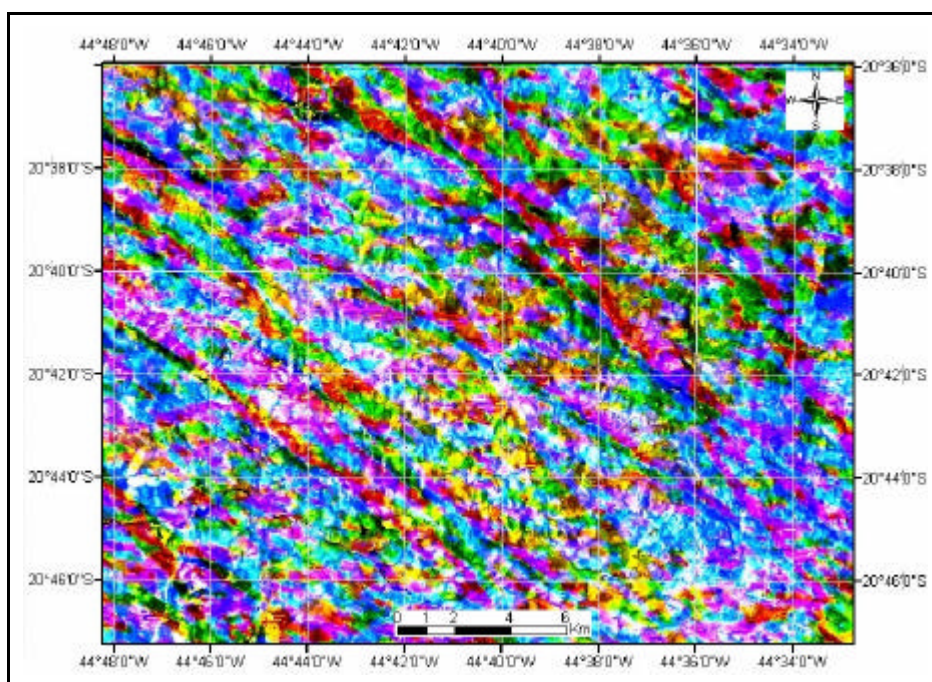


FIGURA 65 - Fusão da banda 7 (sensor TM) com o dado aerogeofísico no espaço IHS – Área Teste “B”

A partir da transformação IHS (*Intensity, Hue e Saturation*) e fusão com a banda 7 do sensor ETM+, foram ressaltados lineamentos não visíveis devido a perturbação do campo magnético exercido pelas formações ferríferas.

#### 8.8.1.4.3 Validação e Calibração do Sistema

Foram realizadas etapas de campo para verificação dos resultados apontados pela classificação da imagem de satélite e pela fusão dos dados.

Durante as essas etapas de campo foi possível comprovar tanto as regiões apontadas como afloramentos de gnaisses, como alguns diques metabásicos, ainda que muito alterados. Por fim, o esquema representado na HG. 66, tem a finalidade de apresentar os procedimentos metodológicos descritos como etapas desta linha da pesquisa.

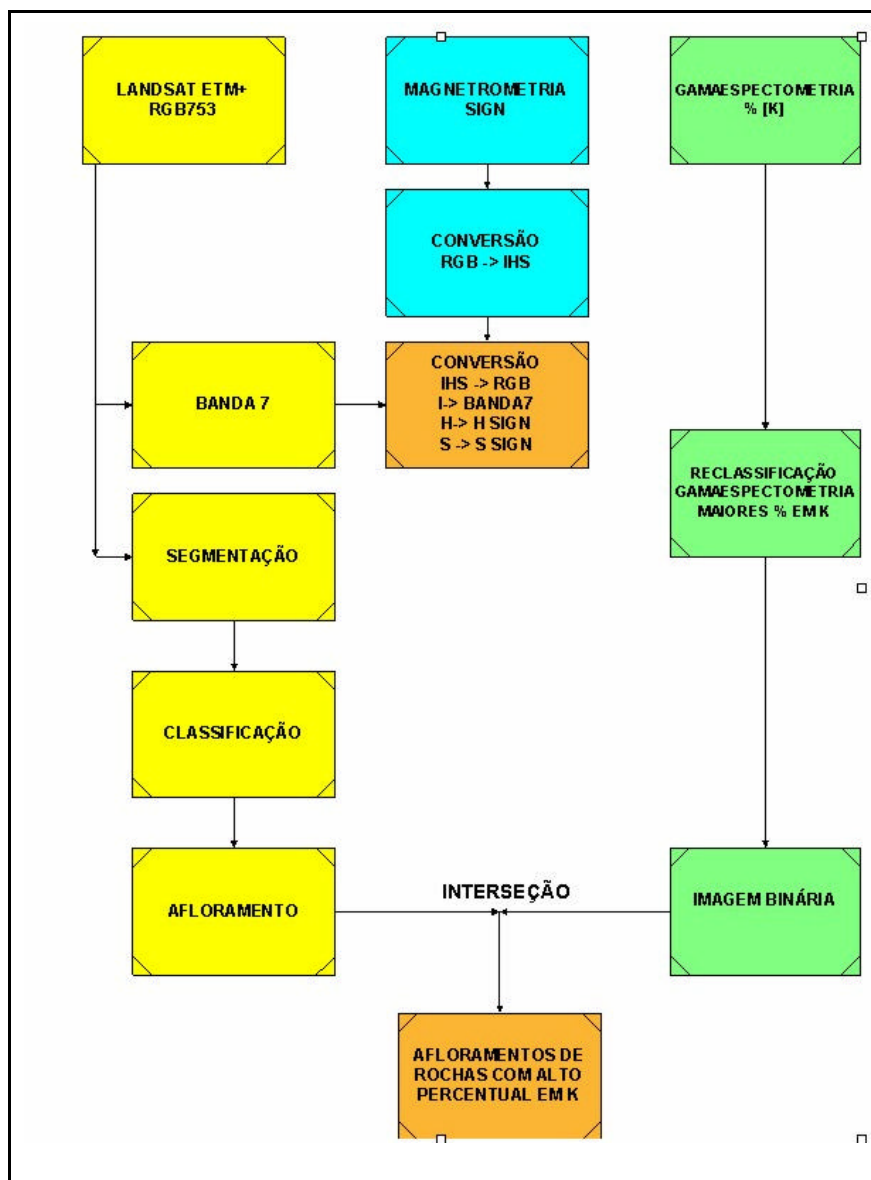


FIGURA 66 - Principais passos da metodologia empregada

#### 8.8.1.4.4 Complementação do Mapeamento Geológico

Com base nas técnicas aplicadas é possível sugerir a complementação do mapa geológico da CODEMIG (Minas Gerais, 2003), para a região da Área “A”. Neste novo mapa são inseridas novas informações de posicionamento, geometria e dimensões de lineamentos (correspondentes aos diques metabásicos) e afloramentos rochosos (rochas gnáissicas migmatíticas), como apresentado na FIG.67.



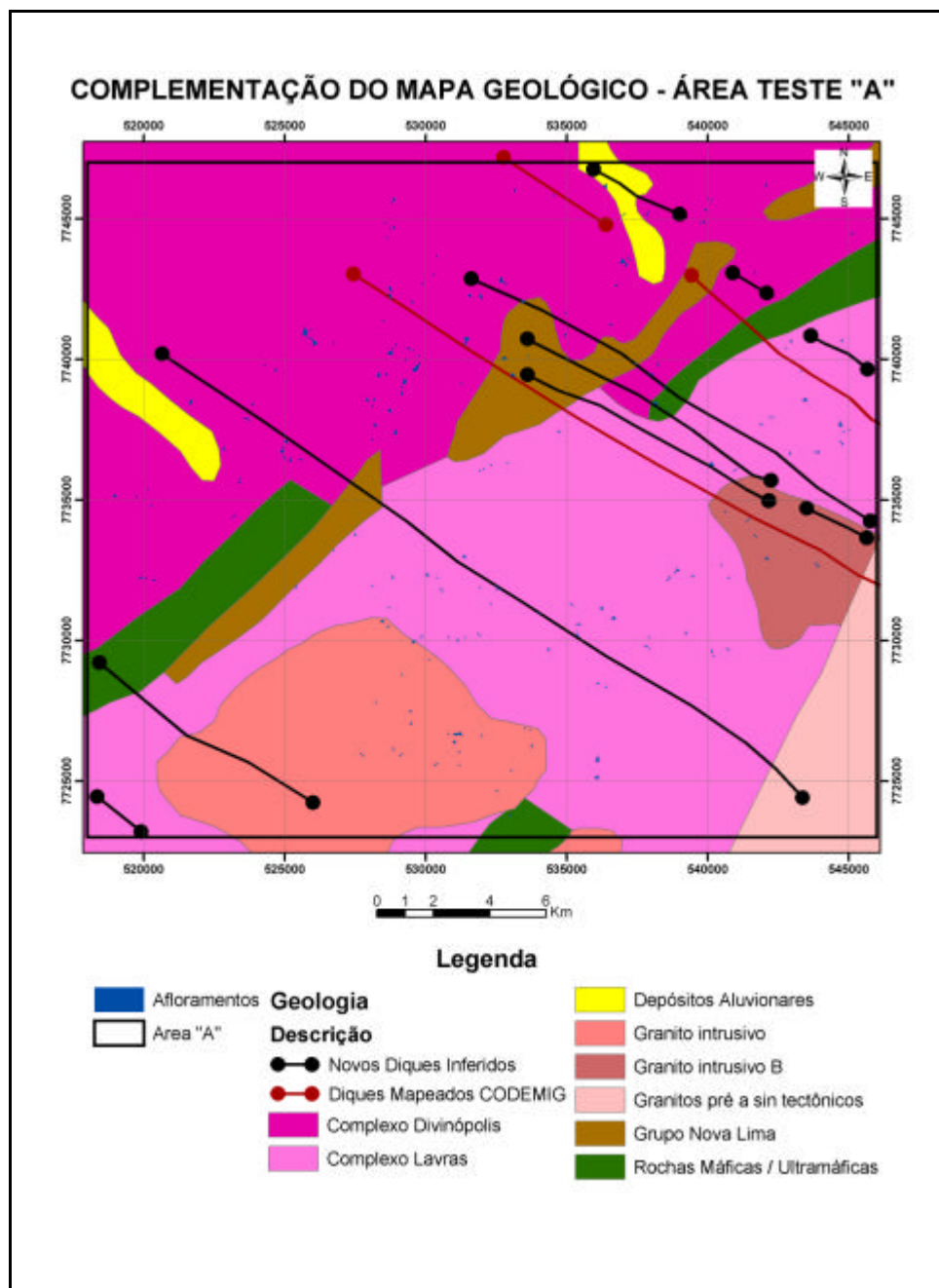


FIGURA 67 - Complementação de região do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais

Fonte: Minas Gerais, 2003.

## 8.9 Montagem de SIG para o CPCO

Este item tem como objetivo o desenvolvimento e uso de SIG para o cruzamento de variáveis e análises espaciais. Vale enfatizar que a função de um SIG, não é só o simples

armazenamento de dados e sim a construção de informações, antes não perceptíveis proporcionando ganhos efetivos de conhecimentos.

### 8.9.1 - Organização da Base Cartográfica Vetorial

Durante a montagem do SIG, na etapa inicial, outro objetivo foi a organização e construção da base cartográfica. Para isso, lançou-se mão do banco de dados do GEOMINAS, o qual contém os arquivos referentes aos sistemas viários, ferroviários, às curvas de nível, limites administrativos, drenagem, entre outros. Esses arquivos encontram-se originalmente em formato digital e correspondem, em parte, ao resultado de uma importante política de emprego de tecnologia digital através do projeto de digitalização das Cartas Topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No caso da região em questão, estas cartas encontram-se na escala 1:50.000.

Inicialmente, no programa *MapInfo*, foram feitas consultas do tipo SQL – (*Structured Query Language*), dos arquivos originais referentes às bases do GEOMINAS, em formato (\*.tab – formato do *MapInfo*), com objetivo de selecionar os Planos de Informação de Interesse, acima citados.

Em seguida esses arquivos previamente selecionados, foram convertidos para o formato DXF (*Drawing Exchange Format*), adequado para a importação de arquivos vetoriais no Spring 4.11. O QUADRO 9, relaciona os Planos de Informações (PI) adquiridos pela importação do Banco de Dados GEOMINAS.

## QUADRO 9

Relação dos planos de informação presentes no SIG do Centro Produtor de Rochas Ornamentais de Candeias-Oliveira.

| Plano de Informação     | Fonte – Comentário   |
|-------------------------|--|
| Curvas de Nível         | A) - Base Cartográfica GEOMINAS;<br>B) – Extraído do SRTM.               |
| Hidrografia             | A) - Base Cartográfica GEOMINAS;<br>B) – Extraído do SRTM.               |
| Sistema Viário          | Base Cartográfica GEOMINAS - (englobando estradas de terra e asfaltadas) |
| Sistema Ferroviário     | Base Cartográfica GEOMINAS   |
| Mapa Geológico          | Vetorizado a partir do Mapa Geológico Digital da CODEMIG de 2002.        |
| Limites Administrativos | Base Cartográfica GEOMINAS - (Municípios e Distritos)                    |
| Hipsometria             | SRT - Modelos Digitais de Elevação                                       |

### 8.9.2 Aquisição e Organização dos Dados Alfanuméricos

Os dados alfanuméricos que compõem o banco de dados do SIG – Rochas Ornamentais referem-se aos valores obtidos durante a caracterização tecnológica dos materiais pétreos selecionados. A opção por este tipo de informação é justificada pela possibilidade do conhecimento das distribuições espaciais das propriedades físico-mecânicas dos materiais estudados. Pode-se, assim, obter uma base consistente para o cruzamento dos dados, que tem como objetivo final o estudo da correlação entre estas propriedades com a mineralogia e a textura destas rochas.

A caracterização tecnológica dos materiais pétreos é normalizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No banco de dados em desenvolvimento, estarão contidas informações sobre os seguintes ensaios tecnológicos:

- Análise Petrográfica;
- Determinação dos Índices Físicos;
- Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial;
- Determinação do Módulo de Flexão;
- Determinação do Desgaste por Abrasão - Desgaste AMSLER.

Os dados tecnológicos resultantes da realização dos ensaios foram adquiridos em etapas distintas, sendo provenientes das fontes:

- 1- Compilação bibliográfica a partir de dissertações de mestrado e trabalhos de graduação;
- 2- Aquisição dos dados através de contato com a Empresa de Mineração (Granasa LTDA);
- 3- Realização de ensaios tecnológicos junto ao LabtecRochas – CPMTc.

A partir da compilação dos valores referentes às características tecnológicas dos tipos ornamentais presentes na região do SIG, os dados alfanuméricos foram organizados conforme o QUADRO 10.

### QUADRO 10

Organização dos dados alfanuméricos, denominação comercial por característica tecnológica

| Denominação comercial      | Índices Físicos                            |                |              | Análise modal |              |             | Módulo de Flexão (MPa) | Compressão Uniaxial (MPa) | Desgaste AMSLER (mm) |
|----------------------------|--|----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
|                            | Massa específica seca (g/Cm <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | Absorção (%) | Quartzo       | Plagioclásio | Microlitina |                        |                           |                      |
| <b>Rosa Raíssa</b>         | 2,64                                       | 0,29           | 0,11         | 35,3          | 38,7         | 21,6        | -                      | -                         | -                    |
| <b>Granito Knawa</b>       | 2,66                                       | 0,27           | 0,10         | 28,0          | 9,6          | 55,2        | 18,33                  | 133,62                    | 0,73                 |
| <b>Branco Nepal</b>        | 2,64                                       | 0,44           | 0,16         | 41,3          | 3,3          | 51,9        | 13,10                  | 172,38                    | 0,57                 |
| <b>Verde Savana</b>        | 2,65                                       | 0,39           | 0,15         | 9,4           | 38,5         | 38,6        | 20,35                  | -                         | 0,82                 |
| <b>Verde São Francisco</b> | 2,67                                       | 0,19           | 0,07         | 15,2          | 23,1         | 46,1        | -                      | -                         | -                    |
| <b>São Francisco Gree</b>  | 2,64                                       | 0,41           | 0,16         | 27,0          | 28,0         | 44,0        | -                      | -                         | -                    |
| <b>Tropical Violet</b>     | 2,63                                       | 0,37           | 0,14         | 25,0          | 30,0         | 45,0        | -                      | -                         | -                    |
| <b>Verde Candeias</b>      | 2,64                                       | 0,56           | 0,21         | 31,0          | 31,0         | 37,0        | 17,69                  | -                         | -                    |
| <b>Rosa Itapeirica</b>     | 2,72                                       | 0,37           | 0,17         | 13,0          | 24,0         | 63,0        | -                      | -                         | -                    |
| <b>Vermelho Cobra</b>      | 2,63                                       | 0,35           | 0,14         | 10,9          | 18,8         | 63,0        | -                      | -                         | -                    |

Posteriormente, esse quadro foi exportado para o programa Microsoft Access, onde foi inserida uma coluna com os endereços de identificação (ID) correspondentes às regiões das minas. O novo arquivo foi salvo no formato DBASEIV.

### 8.9.3 Bancos de Dados Relacionais

A idéia de bancos de dados relacionais foi apresentada pela primeira vez por Codd, pesquisador da IBM, em 1972 (INPE, 2004). Codd partiu da noção matemática de relação. Numa visão intuitiva, pode-se entender uma relação como um conjunto de atributos associado à uma entidade do mundo real. Por exemplo, para descrever um "cadastro urbano" podemos utilizar a relação:

<número\_lote, dono, endereço, área, IPTU>

Esta relação é representada através do QUADRO 11, relacionando o cadastro urbano com seus atributos e exemplos de valores para estes atributos.

#### QUADRO 11

Exemplo de cadastro urbano proposto por Codd (1972), citado em DPI (2004)

| Num_lote | Dono          | Endereço                  | area (m <sup>2</sup> ) | IPTU (R\$) |
|----------|---------------|---------------------------|------------------------|------------|
| 195689   | Guimarães, M. | Clóvis<br>Bevilacqua, 768 | 900                    | 350        |

Fonte: Codd (1972) citado por DPI (2004).

O modelo relacional é a tecnologia mais difundida para lidar com problemas de bancos de dados para aplicações administrativas e comerciais. Sua formulação permitiu a definição de uma linguagem de consulta padronizada SQL (*Structured Query Language*).

Para o banco de dados das rochas ornamentais esse modelo foi tido como adequado, já que o mesmo permite a vinculação das características tecnológicas de um dado tipo ornamental a uma região específica do globo terrestre (região de extração, mina), por meio de um identificador (id). A fim de exemplificar os tipos de atributos que podem ser

vinculados as minas/rochas\_ornamentais segue a TAB. 61 do cadastro de rochas do SIG, conforme a relação:

<Endereço\_id, Denominação Comercial, Município, Porosidade, Absorção, % quartzo, %plagioclásio, % Kfeldspatos, Flexão, Compressão e Desgaste>

**TABELA 61**

Exemplo de cadastro para as características tecnológicas das rochas ornamentais

| Endereço (id) | Denominação Comercial | Índices Físicos                            |                |              | Análise modal |              |             | Módulo de Flexão (Mpa) | Compressão Uniaxial (MPa) | Desgaste AMSLER (mm) |
|---------------|-----------------------|--|----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
|               |                       | Massa específica seca (g/Cm <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | Absorção (%) | Quartzo       | Plagioclásio | Micro-clina |                        |                           |                      |
| Gr062         | Granito Knawa         | 2,66                                       | 0,27           | 0,10         | 28,0          | 9,6          | 55,2        | 18,33                  | 133,629                   | 0,73                 |

#### 8.9.4 Consulta ao banco de dados

A forma usual de ligação entre um sistema de informação geográfica e um banco de dados relacional é através de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional (SGBDR), chamado modelo "geo-relacional", no qual os componentes espacial e descritivo do objeto geográfico são armazenados separadamente.

Os atributos convencionais são guardados no banco de dados (na forma de tabelas) e os dados espaciais são tratados por um sistema. A conexão é feita por identificadores (**id**) de objetos, assim como exemplificado na FIG. 68.

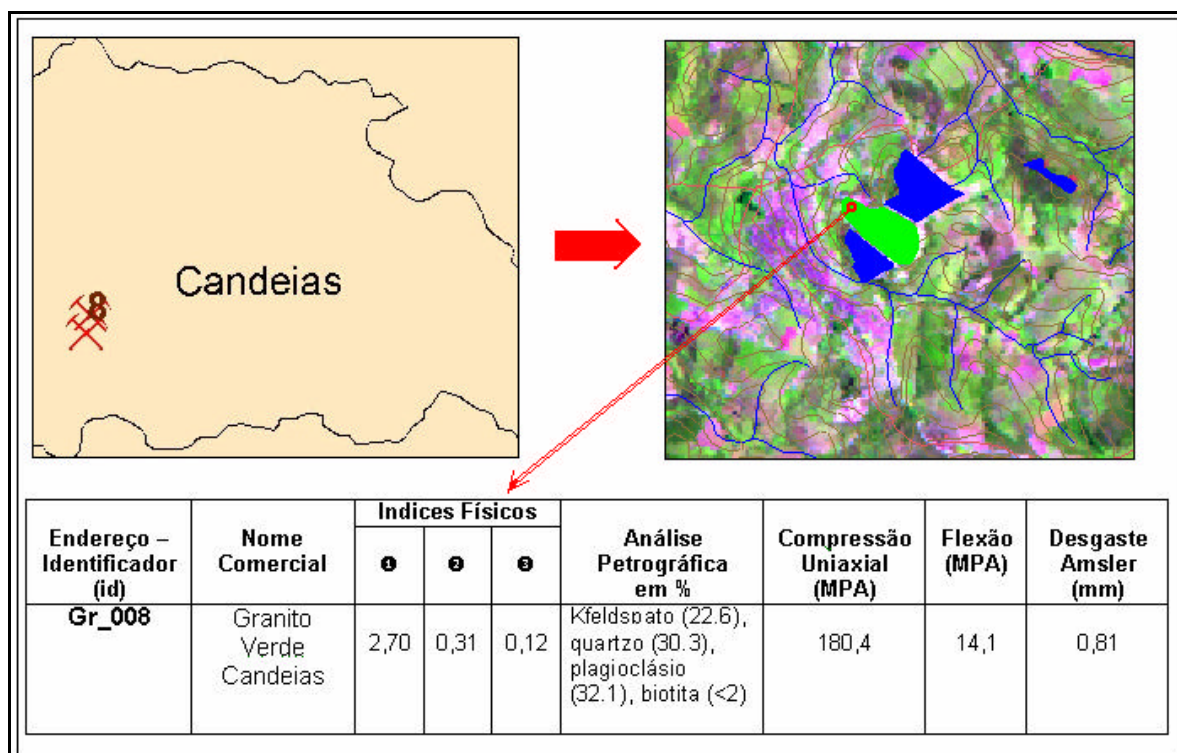


FIGURA 68 - Exemplo de modelo de dados geo-relacional, envolvendo jazidas de rochas ornamentais e características tecnológicas.

### 8.9.5 Análise do Potencial de Exploração e de Escoamento da Produção para o CPCO

Assim como descrito no item 8.3, os SIG's são sistemas que permitem o cruzamento das informações contidas nos vários planos de informações (*layers/camadas*) envolvidos, favorecendo a realização de operações matemáticas, espacialização de fenômenos, confecção de mapas temáticos, entre muitos outros. Esse conjunto de possibilidades tornam os SIG's instrumentos únicos para a resolução de muitos problemas específicos que envolvem as combinações de variáveis posicionadas em região(ões) da superfície do globo.

A criação de mapas de distâncias e o cruzamento de certos planos de informações do SIG ora desenvolvido permitem a análise de questões relacionadas ao escoamento da produção e à conservação do meio ambiente, na área de abrangência desse sistema. Como exemplo de aplicações de análises de variáveis espaciais, o presente trabalho apresenta um

mapa síntese denominado “Mapa de Geopotencialidades Ornamentais do CPCO”, que favorecerá o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais desse Centro Produtor.

O mapa de geopotencialidades considera tanto a grau de facilidade de escoamento como a viabilidade de exploração segundo restrições de proteção ambiental. Optou-se pela técnica de multi-critérios para a combinação de variáveis espaciais e produção do mapa-síntese, tanto para o mapa de grau de facilidade de escoamento de produção, como para o mapa de identificação de áreas de restrições ambientais.

Na análise do potencial logístico para escoamento da produção, com base na infraestrutura implantada, a aplicação da técnica citada tem como objetivo a determinação das regiões com maior viabilidade de transporte da produção, favorecendo a exploração das Rochas Ornamentais.

Na análise de fatores ambientais foram identificadas regiões de restrições ambientais definidas por lei.

Para avaliar as possibilidades de escoamento da produção de blocos, foram usados mapas de distância (*buffers*), envolvendo área definida em 100km, com intervalos regulares de 5 em 5km, para os seguintes planos de informações: zona urbana, rodovias, linhas férreas e portos de embarque férreos assim como apresentado nas FIG. : 69; 70; 71 e 72.



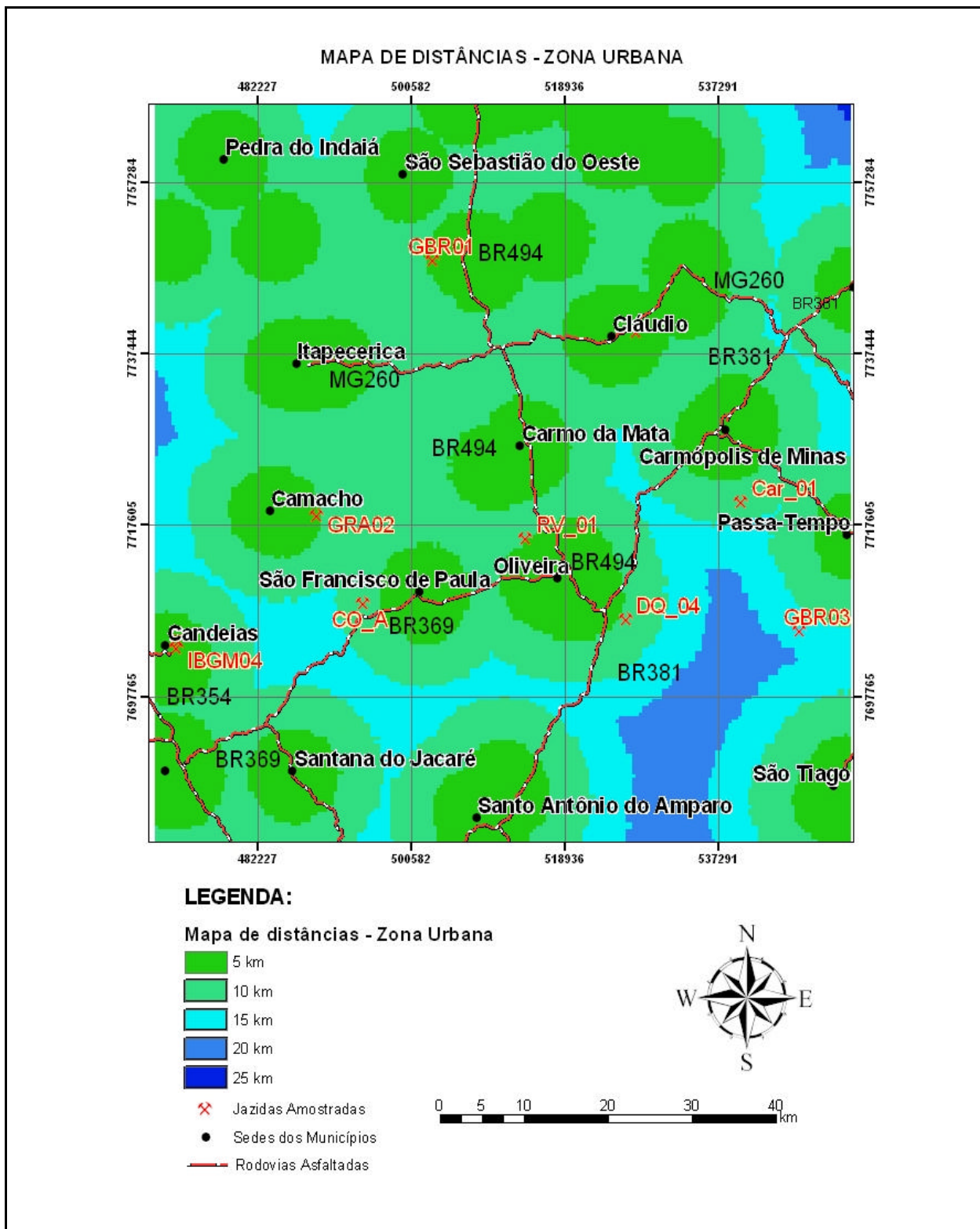


FIGURA 69 - Mapas de Distâncias em relação às zonas urbanas

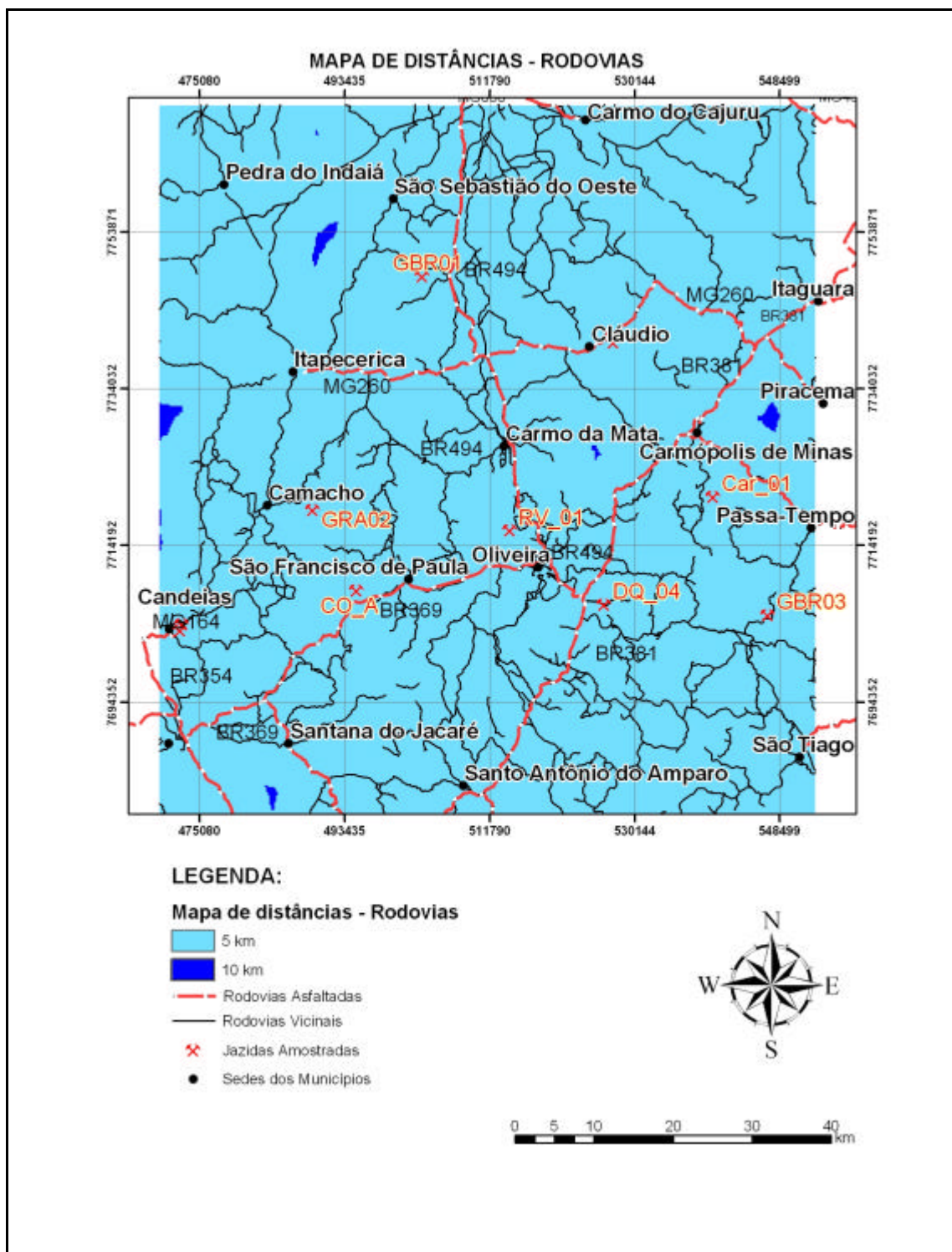


FIGURA70 - Mapa de distâncias em relação às rodovias

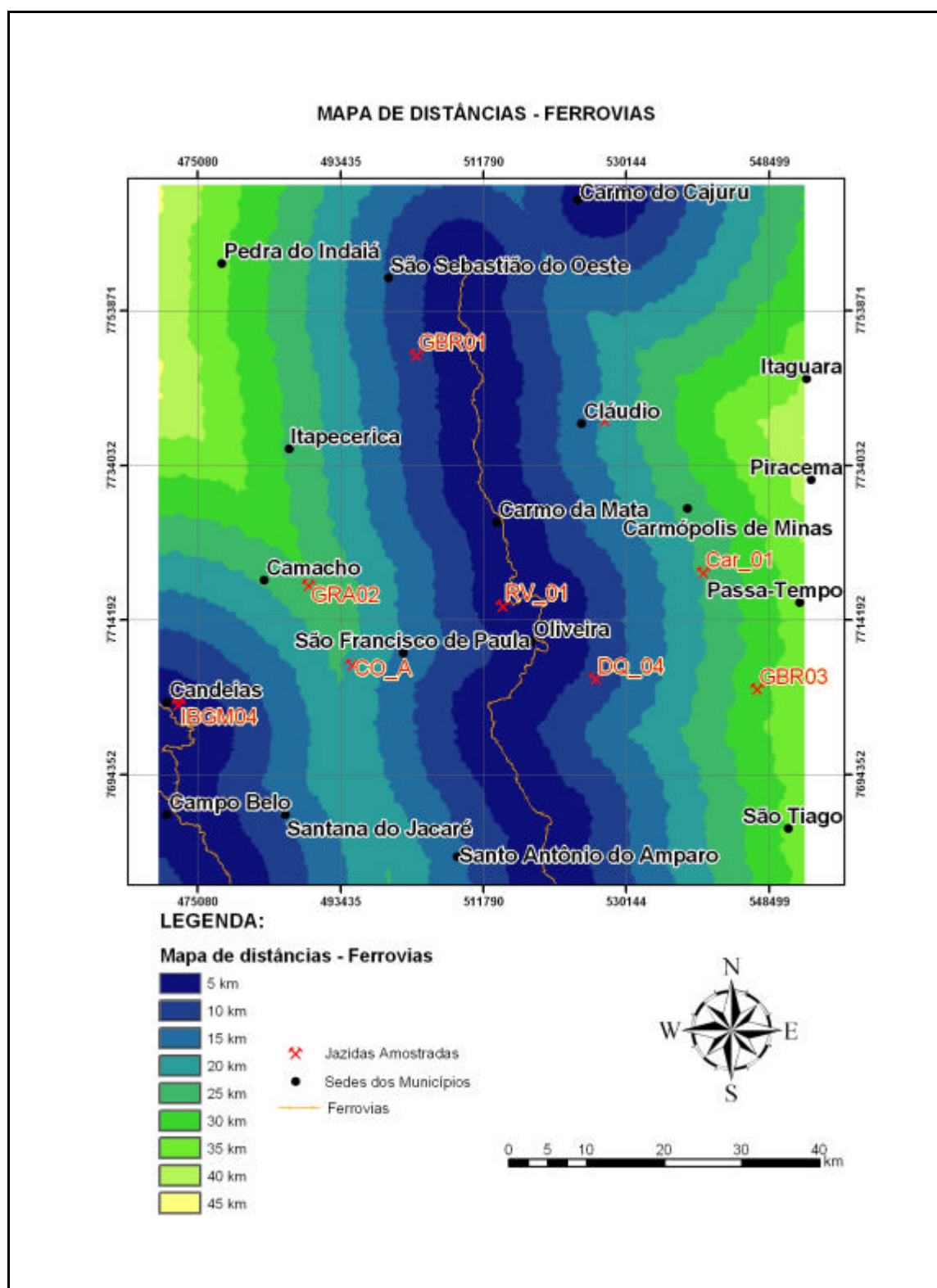


FIGURA 71 - Mapas de Distâncias em relação às linhas férreas

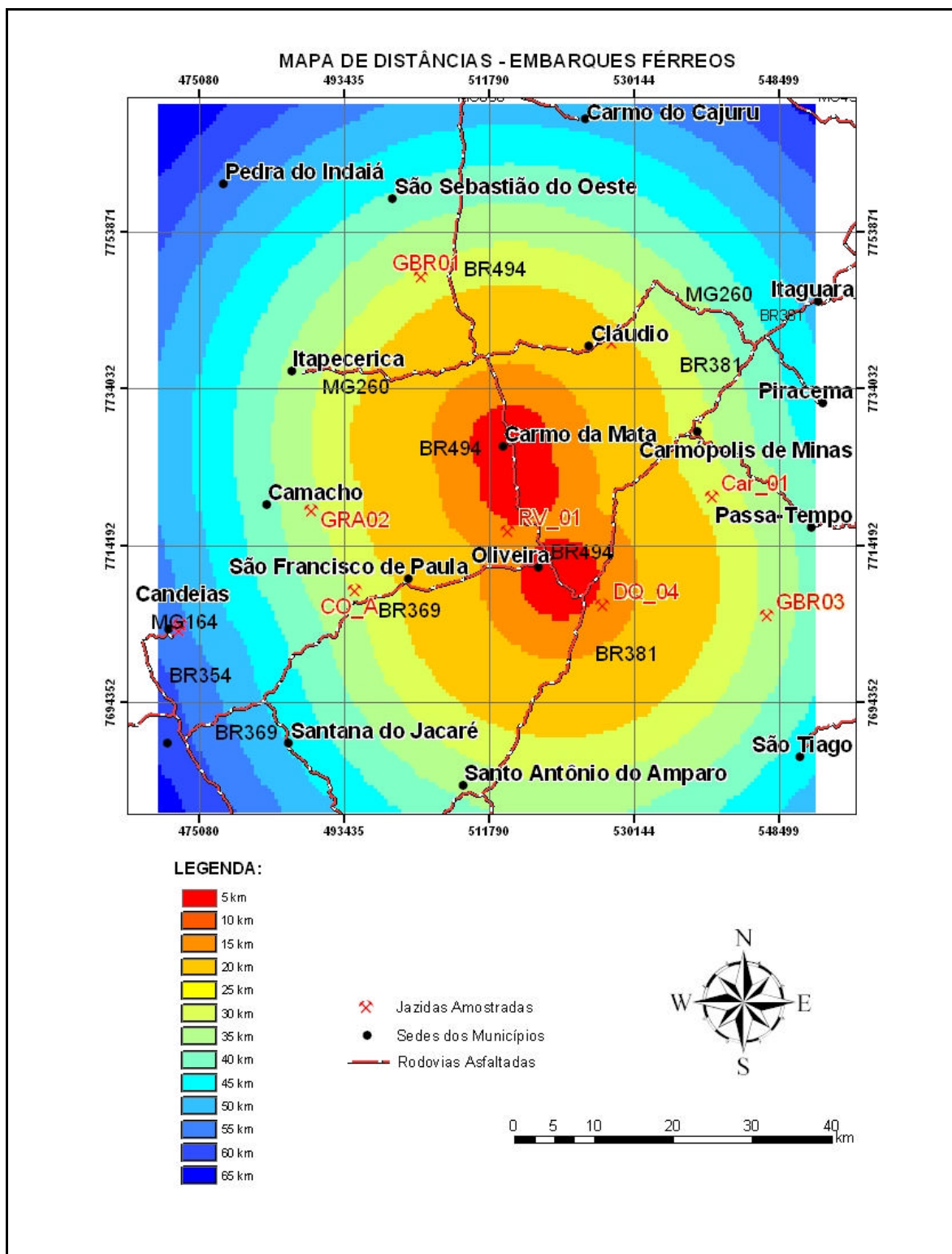


FIGURA 72 - Mapas de Distâncias em relação aos portos de embarque férreos

Para avaliar as possibilidades de exploração com relação aos fatores ambientais, foram geradas as Áreas de Preservação Permanentes (APP's), em conformidade com o Artigo 2º do Código Florestal Federal (Lei 4771 de 15 de setembro de 1965), assim como

apresentado na FIG. 73. Foram usados *buffers*, considerando como áreas de preservação permanente as regiões de:

- Topo de Morros;
- 30,0m para os cursos d'água, menores que 10m de largura;
- 50,0m para os cursos d'água, com largura entre 10 e 50metros;
- Áreas com declividade superior a 45°;
- Unidades de Conservação (UC), Municipais, Estaduais e Federais.

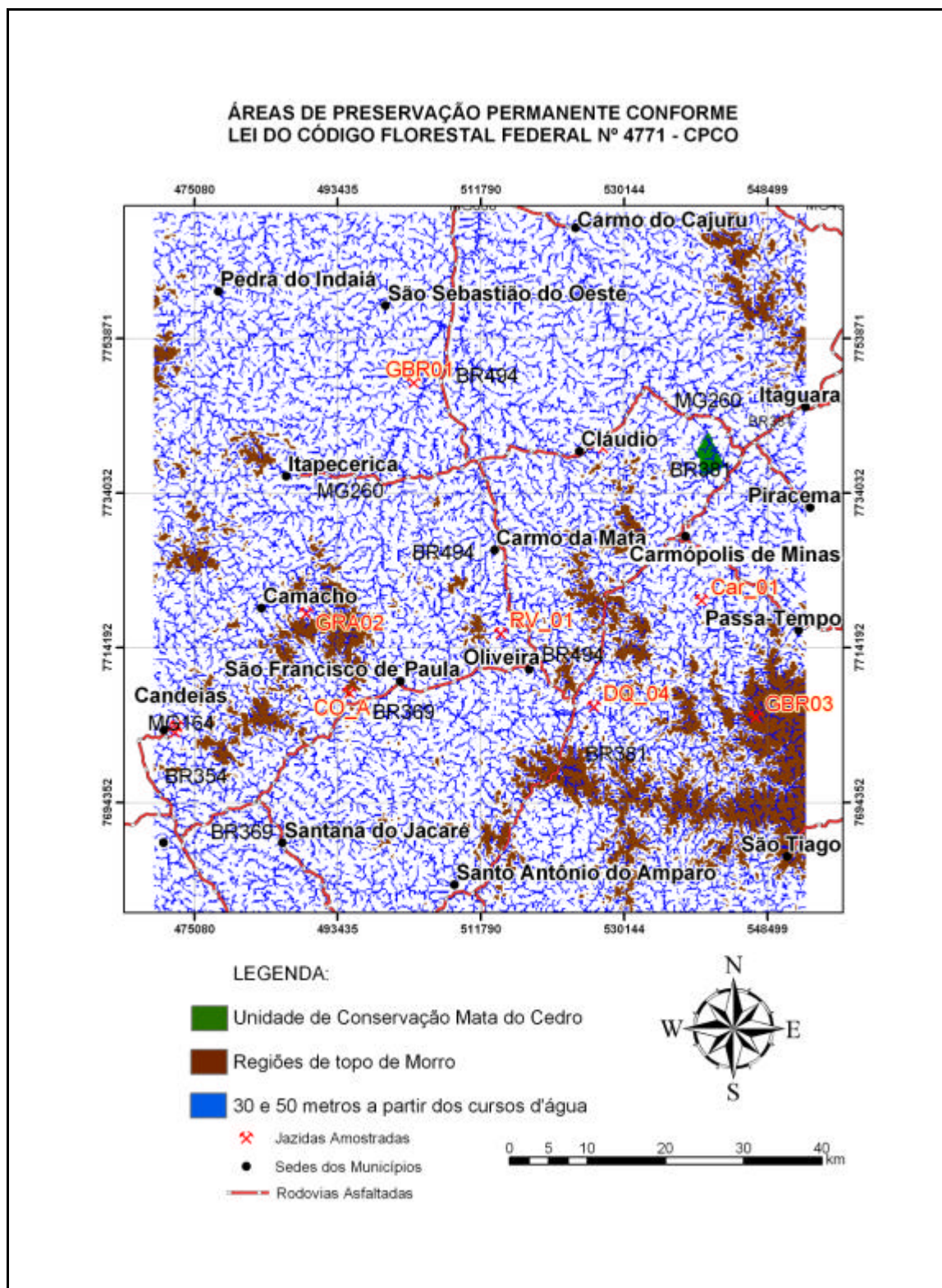


FIGURA 73 - Regiões de APP's - somatório das classes de preservação para o CPCO

Uma vez elaborado o conjunto de mapas temáticos caracterizadores da área, segundo parâmetros ambientais e logísticos, foi promovida a álgebra de mapas para as análises de multi-critérios.

Para a construção das referidas análises, foi utilizado o programa Spring 4.11, através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

De acordo com Kouakou e Silva (2004), o procedimento de análise consiste em justapor informações das diferentes origens, sendo é claro, todas com o mesmo georreferenciamento e resolução (matrizes correspondentes), com a finalidade de ressaltar as características de interesse. No entanto, o conhecimento da área de estudo, e da base operacional são fundamentais para a construção da estrutura e uma correta avaliação do sistema, os quais possuem características próprias.

Para o SIG da região do CPCO, os planos de informação envolvidos nessa análise, foram separados em dois grupos: Fatores Ambientais e de Escoamento da Produção. Pelo cruzamento das informações destes dois grupos, foi possível confeccionar o Mapa de Geopotencialidade de Rochas Ornamentais para o CPCO, assim como representado pela árvore de decisões da FIG. 74.

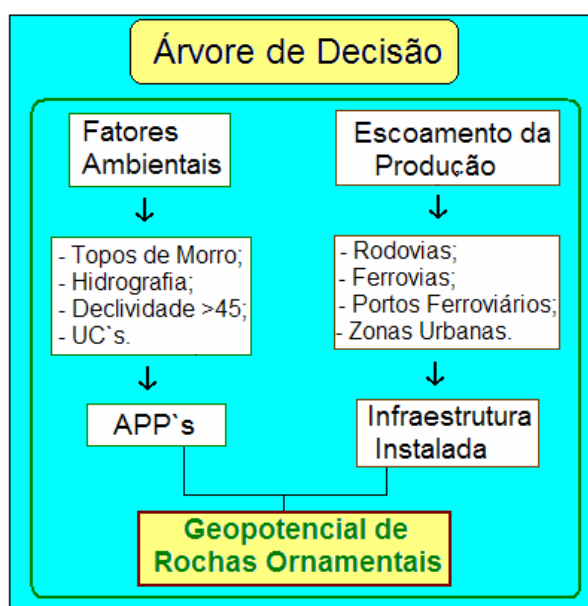


FIGURA 74 - Árvore de decisão para Geopotencialidades Ornamentais do CPCO

No que diz respeito ao estudo da infra-estrutura instalada, visando o cruzamento das variáveis, foi aplicada a média ponderada com a atribuição de pesos e notas para os componentes. Os valores foram definidos segundo a importância para a logística de apoio e escoamento da produção, com base nas informações das etapas de campo e das referências bibliográficas, segundo apresentado na TAB. 62:

TABELA 62

Valores atribuídos para a ponderação – análise de multi-critério

| <b>Plano de Informação</b> | <b>Portos Ferroviários</b> | <b>Rodovias</b> | <b>Ferrovias</b> | <b>Zona Urbana</b> |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Nota ponderada             | 0,40                       | 0,20            | 0,20             | 0,20               |

Com a finalidade de atribuir um intervalo de valores para os resultados representados pelos intervalos de classes temáticas, (presentes no Mapa de Geopotencialidades Ornamentais do CPCO), foram adotados os seguintes valores, para o fatiamento: [0.0,2.0] : "Baixo", [2.0, 4.0] : "Medio-baixo", [4.0, 6.0] : "Medio", [6.0, 8.0] : "Medio-alto" e [8.0, 10.0] : "Alto");. A seguir é apresentado o algoritmo utilizado para esta análise.

**Programa:**

```
{
  Tematico app ("APP's"), ferro ("Buffers"), porto ("Buffers"), rodo ("Buffers"), urbano
  ("Buffers"), anali ("Analise");
  Numerico anali ("AnaliseNum");
  Tabela pond (Ponderacao), pond2 (Ponderacao);
  Tabela fati (Fatiamento);
  app = Recuperar (Nome="APPTotal");
  ferro = Recuperar (Nome="BU_ferrovia");
  porto = Recuperar (Nome="BU_portos");
  rodo = Recuperar (Nome="BU_rodos");
  urbano = Recuperar (Nome="BU_urbano");
  anali = Novo (Nome="analinum", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0,
  Max=10);
  anali=Novo (Nome="Potencial_24_01", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
  pond = Novo (CategoriaIni = "APP's",
    "apprio":0,
    "appdecliv":0,
    "apptopo":0,
    "appuc":0,
    "fundo":1);
  pond2 = Novo (CategoriaIni = "Buffers" ,
    "0-5":10,
```



"5-10":9,  
 "10-15":8,  
 "15-20":7,  
 "20-25":6,  
 "25-30":5,  
 "30-35":4,  
 "35-40":3,  
 "40-45":2,  
 "45-50":1,  
 "50-55":0,  
 "55-60":0,  
 "60-65":0,  
 "65-70":0,  
 "70-75":0,  
 "75-80":0,  
 "80-85":0,  
 "85-90":0,  
 "90-95":0,  
 "95-100":0);

anali = (0.40\*(Pondere(porto, pond2)) + 0.20\*(Pondere(rodo, pond2)) +  
 0.20\*(Pondere(ferro, pond2)) + 0.20\*(Pondere(urbano, pond2)) )\*(Pondere(app,pond));

fati=Novo(CategoriaFim = "Analise",  
 [0.0,2.0] : "Baixo",  
 [2.0, 4.0] : "Medio-baixo",  
 [4.0, 6.0] : "Medio",  
 [6.0, 8.0] : "Medio-alto",  
 [8.0, 10.0] : "Alto");

anals= Fatie (anali,fati);

Por fim a FIG. 75 apresenta o Mapa de Geopotencialidades Ornamentais para o  
 CPCO.

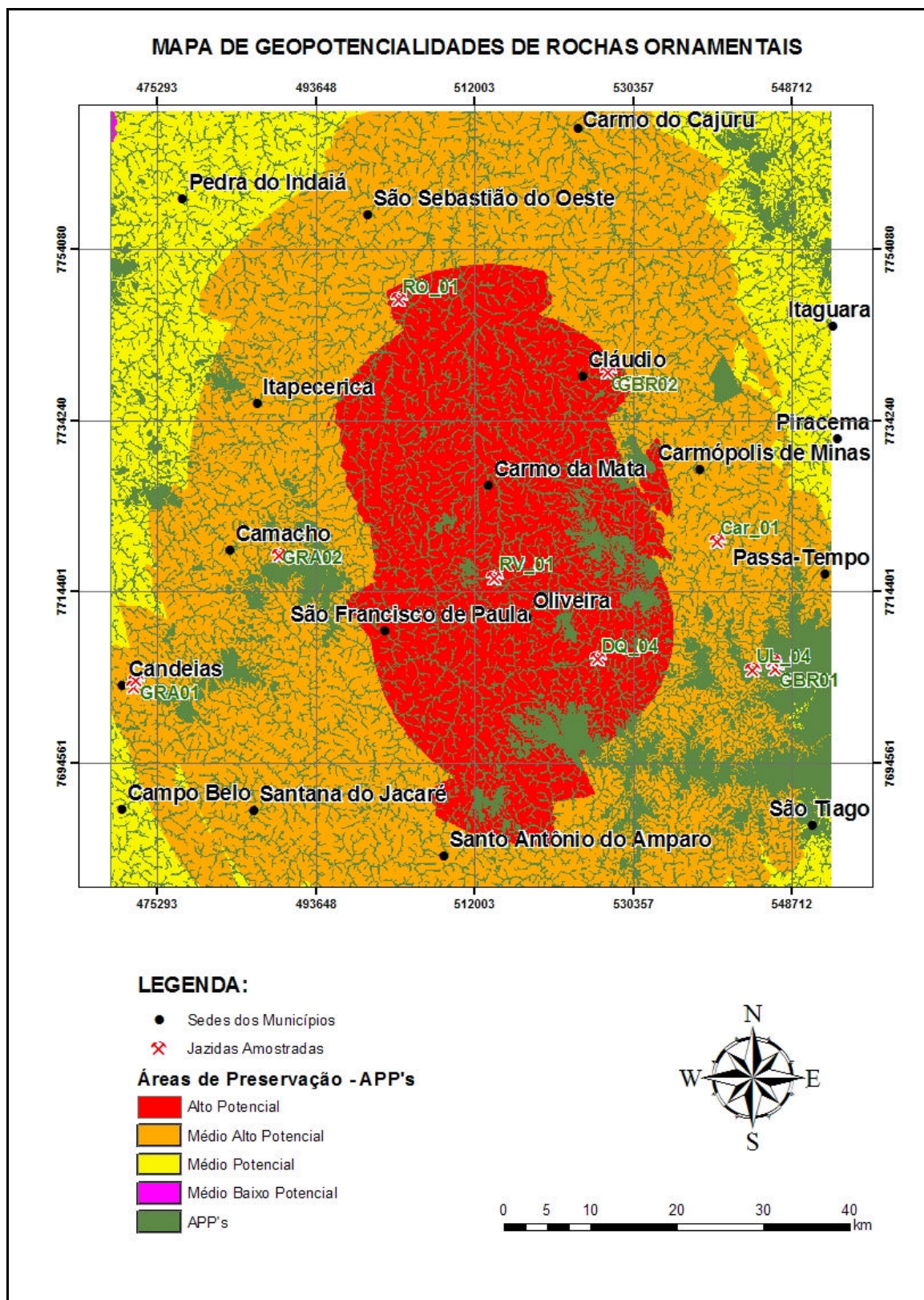


FIGURA 75 - Mapa de Geopotencialidades de Rochas Ornamentais

## 9 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram desenvolvidas e apresentadas (nos Capítulos 6, 7 e 8 respectivamente) aplicações das técnicas de PDI nas diferentes escalas meso, micro e macroscópica, no sentido de favorecer o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais. Alguns dos resultados obtidos apontam para a aplicabilidade dos métodos desenvolvidos, indicando que o emprego dessas técnicas pode e deve ser revertido em instrumentos que venham a incrementar a competitividade dos materiais pétreos naturais em relação aos produtos artificiais. Salienta-se a aplicabilidade das técnicas de PDI no setor das rochas ornamentais no sentido da melhor caracterização dos materiais acabados, sendo sua contribuição à melhoria da acurácia para os procedimentos de caracterização estética das chapas e de suas qualidades. O emprego dessas técnicas pode promover a substituição parcial dos testes destrutivos pelas caracterizações não destrutivas.

A outra linha da pesquisa, veio a confirmar a hipótese de que o uso do geoprocessamento tem papel importante para a definição de alvos com possível valor ornamental bem como sua aplicação para o estudo da viabilidade de áreas, em função dos cruzamentos dos planos de informações que representam diferentes características (litologia, posicionamento e geometria de afloramentos rochosos, infra-estrutura instalada, proximidade em relação aos centros urbanos, fatores ambientais entre outros). Ressalta-se que o uso do geoprocessamento é uma ferramenta imprescindível para o desenvolvimento sustentável do setor, seja pelo seu beneficiamento durante as etapas de prospecção mineral e de mapeamento geológico, seja devido suas contribuições para os setores de planejamento, administração e de gestão ambiental.

Com a finalidade de explicitar as aplicabilidades e imperfeições das técnicas desenvolvidas e aplicadas, são apresentadas a seguir, as conclusões e considerações finais separadas por capítulo.

### Considerações Finais: Capítulo 6

No Capítulo 6, foram apresentadas técnicas de PDI para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais na escala mesoscópica. Para o estudo de viabilidade e aplicação dessas técnicas, foram selecionadas três variedades de materiais pétreos (Violeta Candeias, Café Imperial e Nero Porto Rosa) com comprovado valor no mercado das rochas

ornamentais, tendo sido as técnicas aprimoradas e os resultados considerados satisfatórios para a classificação de chapas polidas com base em parâmetros estéticos.

Foi verificado que apenas as análises dos histogramas das imagens em tons de cinza ou nos canais RGB e/ou IHS, de um determinado tipo pético, não servem como parâmetro para classificação de uma variedade ornamental. O mesmo pode ser afirmado com relação às construções das curvas granulométricas, seguidas de suas análises individuais. No entanto, o uso simultâneo dos dois parâmetros permite classificar de forma distinta tipos pétreos com valor ornamental.

A construção de histogramas dos canais RGB (*red/green/blue*) para chapas coloridas, contribuem no sentido de refinar a classificação de um tipo pético. No entanto, as curvas obtidas pelo sistema de parâmetros IHS mostraram-se mais confiáveis devido às suas maiores semelhanças quando comparadas à curva gaussiana. Sugere-se portanto que as duas classificações sejam usadas em conjunto, favorecendo uma melhor separação dos parâmetros estéticos das chapas.

A correlação entre parâmetros da estatística elementar (média e variância), relativos às frequência dos tons de cinza de uma dada rocha/chapa/imagem, deve também ser convertida como um critério de refinamento da metodologia de classificação de chapas polidas.

Motoki et al. (2002, 2004) sugerem uma classificação para as Rochas Ornamentais baseada também na correlação entre a Intensidade “I” e a saturação “S”, dividindo o gráfico em campos específicos. Com base nessa divisão, pode-se afirmar que os conjuntos representados pelas amostras das variedades Nero Porto Rosa e Café Imperial correspondem a variedades classificadas como de “Cor Forte” (dada pela saturação) e “Escuro(a)” (dada pela intensidade). Já o grupo representado pelas amostras da variedade Violeta Candeias é classificada em parte como de “Cor Forte” e em parte como “Cinza Escuro(a)”, como exemplificado na FIG. 76.

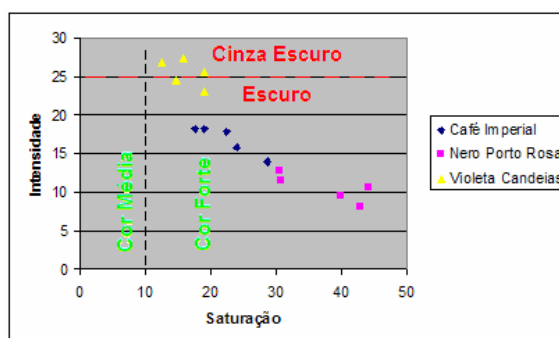


FIGURA 76 - Correlação entre os parâmetros “I” e “S”

A classificação das chapas das variedades ornamentais no sistema IHS com base nos parâmetros estatísticos é um instrumento complementar para a classificação estética das Rochas Ornamentais, podendo a mesma ser implementada através do Spring 4.1 - programa de livre domínio e disponível na *web*.

Os métodos para análise de chapas polidas através de suas imagens, são importantes instrumentos de classificação estética, sendo auxiliares aos ensaios destrutivos destinados à caracterização dos materiais pétreos.

A metodologia proposta para classificação das rochas ornamentais, com base nos parâmetros estéticos de suas imagens, permite identificar as características de um certo lote, contribuindo para firmar o tipo pétreo no mercado, assegurando aos consumidores e aos produtores a qualidade dos materiais. Com o avanço desta linha de pesquisa, pode-se obter a classificação de toda uma produção com base no imageamento das chapas.

A classificação estética das variedades ornamentais, permite que muitas das características importantes sejam garantidas, peça por peça, através de procedimentos metodológicos, baratos e de fácil implementação e em, relativamente curto espaço de tempo, beneficiando consumidores e empreendedores. A FIG. 77 representa um esquema hipotético no qual a classificação estética é implementada em escala industrial.

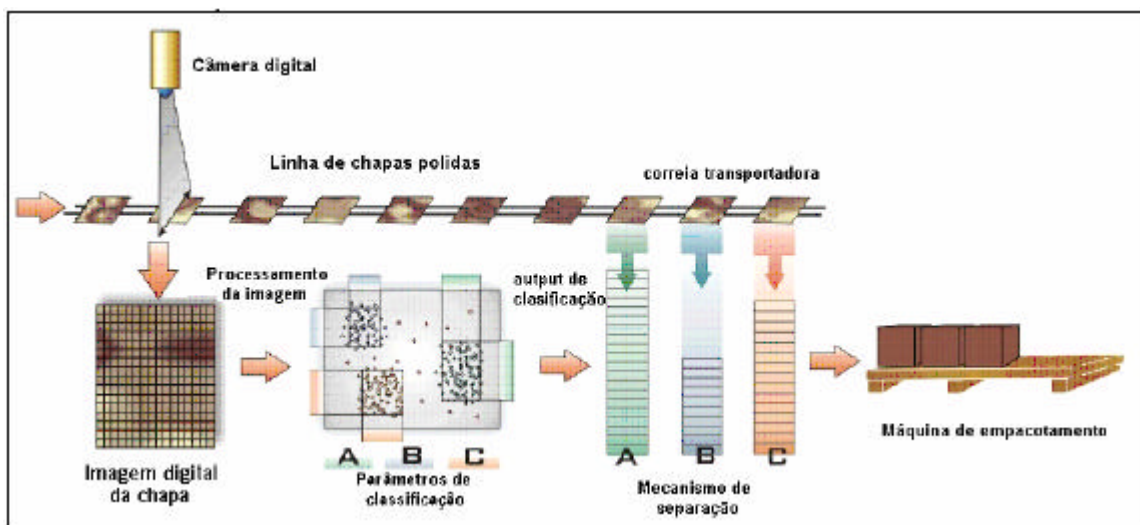


FIGURA 77 - Esquema para a classificação estética em escala industrial

Fonte: Laurange & Bonduá (Modificado), 2003.

Com a aplicação da classificação estética através das técnicas de PDI, é possível organizar os materiais em função da sua cor e granulação, em mosaico com endereços de posicionamento específicos para cada chapa. Este procedimento pode auxiliar na vislumbrança prévia para os revestimentos das fachadas, pisos e demais aplicações, como representado na FIG. 78.





FIGURA78 - Exemplo de aplicação da classificação estética

Nota: Na parte superior, mosaico utilizado para vislumbrar previamente a disposição das chapas no revestimento de fachada em ambiente interno. Na parte inferior, vista da obra acabada.

Fonte: Laurange e Bonduá (Modificado), 2003.

### **Considerações Finais: Capítulo 7**

No Capítulo VII foi priorizada a aplicação das técnicas de PDI para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais em escala microscópica através de micro análises dos mosaicos das fotomicrografias de uma seleção de seções delgadas.

A partir da quantificação das imagens segmentadas dos mosaicos de suas seções delgadas, através do resumo global do Programa Quantikov, foi organizada tabela síntese para os valores obtidos (pela aplicação das técnicas de PDI em escala microscópica).

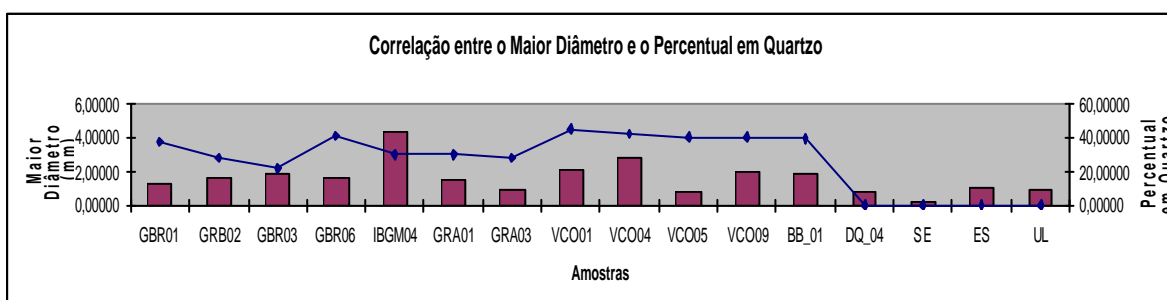
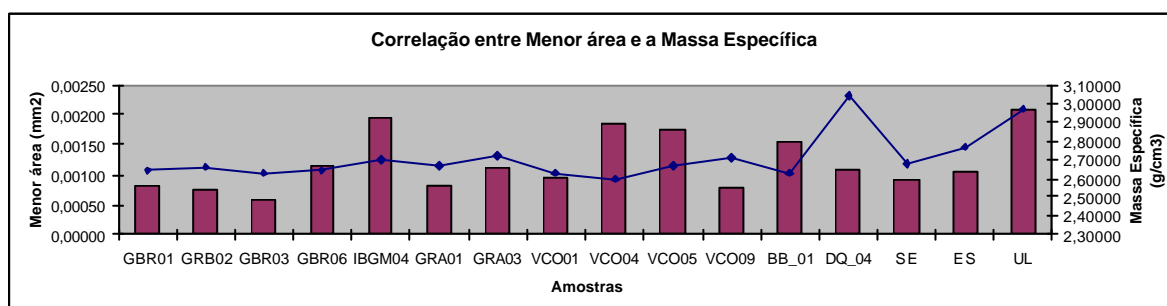
Esses dados foram posteriormente agrupados em conjunto com os resultados da caracterização tecnológica, sendo os mesmos apresentados na Tabela I do ANEXO. Com base nesta tabela e com auxílio do programa SPSS, foi construída a Tabela II (ANEXO) apresentando a correção entres esses parâmetros (aplicação das técnicas de PDI em escala microscópica X Caracterização Tecnológica), sendo as melhores correlações apresentadas na TAB. 63 a seguir:

TABELA 63

Correlações entre os parâmetro extraído pela aplicação das técnicas de PDI pela Caracterização Tecnológica

| Parâmetro extraído pela aplicação das técnicas de PDI<br>X<br>Caracterização Tecnológica | Índice de Correlação<br>(SPSS) |
|--|--------------------------------|
| Menor área X Massa Específica Seca   | 0,715                          |
| Maior diâmetro X Percentual de Quartzo   | 0,505                          |
| Maior diâmetro X Grau de Microfissuramento   | 0,498                          |

A partir dessas correlações foram construídos os diagramas apresentados na FIG. 79, esses resultados podem ser utilizados para inferir comportamentos físico-mecânicos, em função dos parâmetro discriminantes da forma do grão, como por exemplo a existência de uma relação de direta proporcionalidade entre o parâmetro Menor área e o parâmetro Massas Específica, ou seja para as amostras analisadas, quanto menor a área do grão maior é a massa específica.





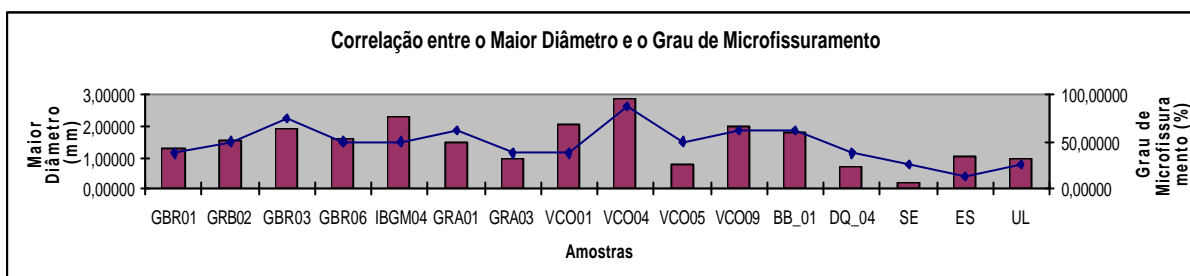


FIGURA 79 - Correlações entre parâmetros discriminantes da forma do grão (extraído pelas microanálises e pelas técnicas de PDI) e características tecnológicas

Notas: Porção superior – Correlação entre a Menor área e a Massa Específica; porção intermediária - Correlação entre Menor área e a Massa Específica; e porção inferior - Correlação entre o Maior Diâmetro e o Percentual em Quartzo.

Conclui-se que a metodologia desenvolvida apresenta restrições quanto à sua aplicação (devido em parte, a ineficácia dos procedimentos e técnicas de segmentação adotadas para os grãos) em função da sua granulação e do alto grau de alteração, apresentados por certas amostras e/ou minerais. No entanto, para a maioria das amostras analisadas, os resultados obtidos puderam ser validados com base em checagens procedidas através do microscópio petrográfico.

A metodologia apresentada permite, a quantificação de parâmetros relacionados à forma dos grãos de certos litotipos, através das análises dos mosaicos de suas seções delgadas e de técnicas de PDI. Com base nas análises dos resultados, para um conjunto das amostras investigadas, é possível estabelecer correlações entre as características físico-mecânicas e os resultados das quantificações de certos parâmetros, apresentados para discriminar a forma dos grãos. O Quantikov permite ainda a quantificação da orientação das formas dos grãos, entre outros parâmetros.

Sugere-se o aprimoramento da técnica por meio do desenvolvimento de programa específico provido de ferramentas capazes de segmentar, quantificar os parâmetros determinantes das formas dos grãos dos mosaicos de seções delgadas, implementando algoritmo para a determinação do Coeficiente de Textura (CT, assim como sugerido por Ersoy et al. (1997)), de forma independente do grau de alteração e/ou de microfissuramento dos minerais constituintes.

Por fim, conclui-se que as técnicas de PDI, quando aplicadas ao Setor das Rochas Ornamentais, podem ser convertidas em instrumentos que devem ser utilizados para a complementação das caracterizações tecnológicas. Estas técnicas constituem em métodos não destrutivos que permitem uma checagem dos procedimentos utilizados.

### Considerações Finais: Capítulo 8

O desenvolvimento do Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) para o CPCO permite a espacialização de variáveis complexas (composição mineralógica, características tecnológicas, dimensões de afloramentos entre outros), possibilitando pesquisas sobre localização e propriedades dos materiais pétreos disponíveis.

Outra contribuição desse Sistema é o Mapa de Geopotencialidades para as Rochas Ornamentais, sendo esse um produto, resultado das técnicas de análise e de PDI empregadas para o desenvolvimento deste Centro Produtor. Em função das localizações das diferentes jazidas de rochas ornamentais, da infraestrutura instalada e das regiões definidas como de APP's, tem-se o zoneamento do CPCO, no qual são apontadas áreas de maior geopotencialidade para a abertura de futuras jazidas de rochas ornamentais assim como regiões de restrição. Este mapeamento poderá ser utilizado como “Carta de Referência”, promovendo o melhor desenvolvimento deste Centro Produtor, apontando também minerações instaladas em áreas de preservação.

O emprego das técnicas de segmentação e de classificação de imagens do sensor TM mostrou resultado ambíguo para algumas das regiões classificadas como afloramentos rochosos que justificou o emprego dos sensores aéreos (gamaespectômetro e magnetômetro).

Dessa forma, a partir dos dados previamente processados e disponibilizados no formato *raster*, do Levantamento Aerogeofísico da CODEMIG para o bloco oeste da “Área 2”, tem-se que:

- A interseção entre os dados provenientes da espectrometria (em particular da anomalia gamaespectométrica do percentual em K) e a segmentação e classificação dos afloramentos rochosos consistem importante ferramenta para a localização dos afloramentos rochosos graníticos, assim como para a inferência dos sentidos de continuidade(s) e dimensões dos maciços rochosos em subsuperfície.

- O uso da fusão dos dados banda 7 do sensor TM e (1dv), por meio do método da transformação IHS, deve ser aplicado para ressaltar regiões com maior probabilidade de ocorrência de afloramentos de rochas meta a ultrabásicas, sobretudo nos locais aonde ocorram perturbações do sinal da (1dv), devido a presença das formações ferríferas.

- A sobreposição dos processos acima descritos e aplicados para a “A”, permitem a confecção de mapa previsional de potencialidades para a abertura de futuras jazidas com valor ornamental, além de complementação do mapeamento da CODEMIG em relação aos diques metabásicos e aos afloramentos dos gnaisses migmatíticos.

As imagens ASTER, apresentam maior número de bandas (janelas), na região termal do espectro eletromagnético quando comparadas com os sensores TM e ETM+ (Landsat 7) sendo dessa forma, reconhecidamente indicado para o mapeamento geológico regional.

Devido às restrições financeiras, os dados do sensor ASTER não foram adquiridos para a região de enfoque do projeto, no entanto foi possível testar parte de uma cena que recobre região constituída por rochas do embasamento cristalino semelhantes às rochas do CMCB. Essa área encontra-se posicionada a leste do município de Bonfim, aproximadamente 5km a oeste da Serra da Moeda. Foram realizadas composições de bandas, sendo o melhor resultado para a definição de afloramentos rochosos a composição RGB\_631/2 (FIG. 80).

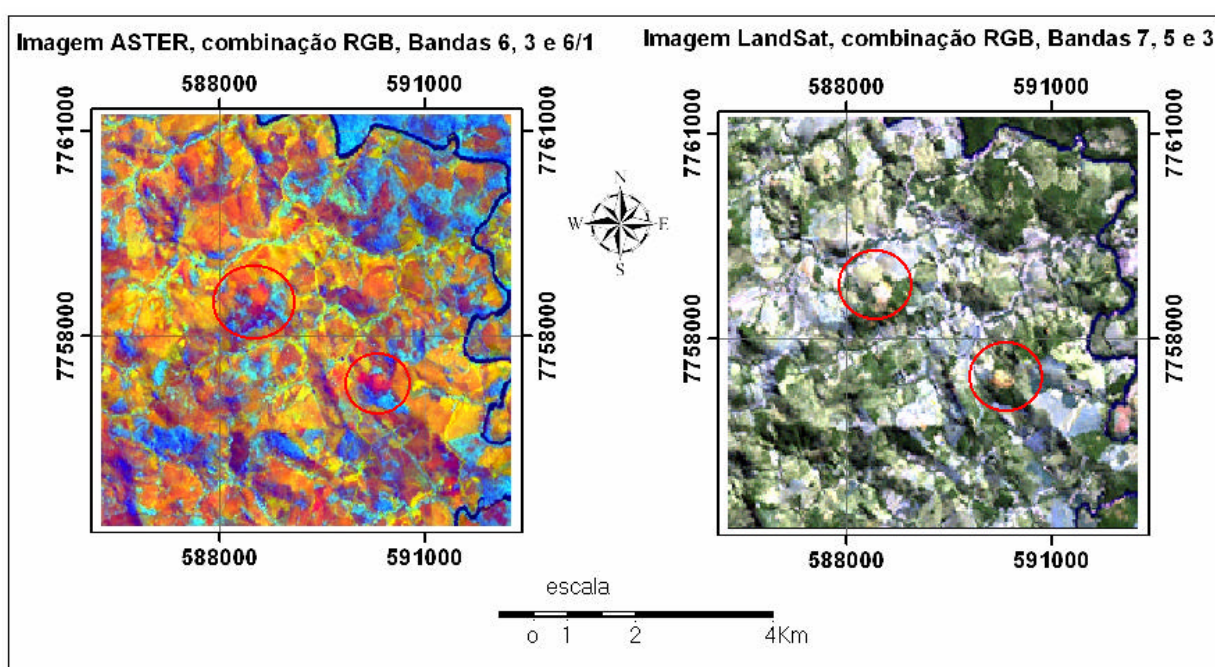


FIGURA 80 - Comparação entre os sensores do sistema ASTER e TM, para região do município de Bonfim

Nota: Na parte superior composição de bandas RGB\_753, do sensor TM; na parte inferior composição de bandas RGB\_631/2 proveniente de sensor do sistema ÁSTER.

Os dados dos sensores remotos disponíveis no sistema ASTER, são considerados hoje uma transição entre os sensores multiespectrais e hiperspectrais. Devido a fatores específicos (número de bandas, resolução e preço) esses dados vêm sendo usados de forma ampla como ferramenta para o mapeamento geológico regional e de semi-detalle, confirmando a importância do Sensoriamento Remoto para o desenvolvimento da Geologia e das etapas destinadas ao levantamento dos alvos e à pesquisa mineral.

Com a finalidade de resumir as técnicas de PDI empregadas e suas aplicações para o desenvolvimento do Setor das Rochas Ornamentais, o QUADRO 12 é apresentado a seguir.

### QUADRO 12

Técnicas de PDI, nas escalas micro, meso e macroscópica e suas aplicações no setor das rochas ornamentais.

| Técnica aplicada                            | - Escala -   |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Microscópica   | Mesoscópica  | Macroscópica   |
| <b>Composição de bandas – Sensor TM</b>     | Sem aplicação  | Sem aplicação  | Detecção de afloramentos de rochas do embasamento através da composição de bandas RGB 753, auxiliando na fase inicial da pesquisa mineral.                                   |
| <b>Classificação de imagens – Sensor TM</b> | Sem aplicação  | Sem aplicação  | Classificação das classes temáticas de interesse mineral.  |
| <b>Segmentação de imagens</b>               | A partir dos mosaicos das fotomicrografias das seções delgadas, é possível definir as classes granulométricas pela segmentação dos contornos dos grãos de litotipos pouco alterados e com deficiência de fraturas intergranulares. | Aplicação não testada (no entanto é possível imaginar sua aplicação para a quantificação de determinados minerais em chapas polidas) | Classificação através do método do Batacharya disponível no Spring 4.11.   |
| <b>Transformação RGB =&gt; IHS</b>          | Aplicação não testada  | Classificação das chapas polidas no sistema IHS (parâmetros mais confiáveis do ponto de vista da classificação da cor)               | Fusão de dados (Sensor TM com dados do levantamento aerogeofísico – CODEMIG)<br>Ferramenta para a definição de alvos com possível valor para o setor das rochas ornamentais. |

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. /Site oficial/ 2004. <Disponível em <<http://www.abirochas.com.br/index.html>> Acesso em: 26/01/2006.

AGI GIS dictionary. University of Edimburgh, 1996. Disponível em: <<http://www.geo.ed.ac.uk/agidict/welcome.html>>. Acesso em 20/04/04.

ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. *Tecnologia de lavra beneficiamento de rochas ornamentais*. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996, 225p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C880-89; standard test method for flexural strength of dimensional stone. [s.l.], 1989.

ANTONAZZO, L.; BADIALI, E.; BRUNO, R.; PROVERBIO, M. Certification mark and aesthetical characterisation of Provincia VCO ornamental stones. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2003, Lisboa. [*Trabalhos apresentados*]. Lisboa, 2003.

ARTUR, A. C.; MEYER, A. P.; WERNIK, E. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha: dados comparativos e implicações de utilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1.; SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2., 2001, Salvador. *Anais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 13-19.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12766*: rochas para revestimento - determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro, 1992. (Método de ensaio).

\_\_\_\_\_. *NBR-12042*: materiais inorgânicos - determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992. (Método de ensaio).

\_\_\_\_\_. *NBR-12767*: rochas para revestimento - determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 1992. (Método de ensaio).

\_\_\_\_\_. *MB-12768*: rochas para revestimento - análise petrográfica. Rio de Janeiro, 1992. (Método de ensaio).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. *Rochas ornamentais no século XXI*: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, H. A. C. Panorama do setor de rochas ornamentais do Estado da Bahia. In: CALVO PEREZ, B.; MAYA SANCHES, M. *Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p.169-183.

BEZERRA, F. N. M.; COSTA, A. G., ARANHA, P. Ensaios físicos em rochas ornamentais: uma proposta de adequação da Norma NBR 12766/1992 (ABNT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998. p.315.

BLUM, M. L. B. *Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral*. 1999. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília.

BONDUA, S. *Novos Instrumentos para a valorização estética de rochas ornamentais: simulação geoestatística e caracterização geológica*. 2002. 234p. Dissertação. (Doutorado em Engenharia de Minas). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

BORGES, K. A. V. *Modelagem de dados geográficos*. Belo Horizonte: UFMG, 2003. Notas de aulas do Curso de Especialização em Geoprocessamento.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JR., C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, M. A. et al. *Banco de dados geográficos*. Curitiba: MundoGEO, 2005. cap. 3, p. 93-179.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. *Projeto Leste – Etapa I; província pegmatítica oriental, Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM, 1997. (Texto explicativo- petrografia).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Anuário mineral brasileiro 2004*. Brasília, 2005.

CALVO PEREZ, B.; MAYA SANCHES, M. Granitos do Centro Produtor Caldas. In: AVANÇOS e transferência tecnológica em rocha ornamental. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p.124-132.

CAMPELLO M. S, MOURA A. C. M, COSTA A. G. Desenvolvimento de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) para o Centro Produtor de Rochas Ornamentais de Candeias-Oliveira, Minas Gerais Brasil. Aceito no 32º Congresso Internacional de Geologia, Florença, Itália. Agosto 2004

CAMPELLO, M. S. *Caracterização tecnológica de granitos ornamentais: montagem de laboratório e rotina para realização de ensaios*. 2000. 108 p. Dissertação. (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAMPELLO, M. S. COSTA, A. G. Desenvolvimento de metodologia para o emprego do Quantikov -Software Analisador de Imagens - na determinação da análise modal de tipos pétreos com valor ornamental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, Ouro Preto, novembro 2003.

CAMPELLO, M. S. et al. *Rochas ornamentais e de revestimento: classificação com aplicação na indústria da construção civil com base na caracterização tecnológica*. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2002, Recife.

CAMPELLO, M. S. Utilização de SIG na complementação do mapa geológico da Região do Centro Produtor de Candeias-Oliveira com base no levantamento aerogeofísico da Codemig:

ênfase na definição de alvos com valor ornamental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 22., 2005, Macaé. *Trabalhos apresentados*. Macaé: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2005. CD-ROM.

CAMPELLO, M. S.; COSTA, A. G.; MOURA, A. C.; FREITAS, C. R. Utilização de SIG na complementação do mapa geológico da Região do Centro Produtor de Candeias-Oliveira com base no levantamento aerogeofísico da Codemig: ênfase na definição de alvos com valor ornamental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 13., 2005, Niterói. *Trabalhos apresentados*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. CD-ROM.

CAMPELLO, M. S.; COSTA, A. G.; MOURA, A. C.; PINTO, L. M.; FREITAS, C. R. Técnicas de processamento digital de imagens para a correlação entre a forma dos grãos e características tecnológicas de granitos ornamentais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 13., 2005, Niterói. *Trabalhos apresentados*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. CD-ROM.

CAMPELLO, M. S.; COSTA, A. G. *Desenvolvimento de metodologia para o emprego do Quantikov* - software analisador de imagens - na determinação da análise modal de tipo pétreo com valor ornamental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, Ouro Preto, 2003.

CAMPELLO, M. S.; MOURA, A. C. M.; COSTA, A. G. C. Desenvolvimento de sistema de informações georreferenciadas (SIG) para o Centro Produtor de Rochas Ornamentais de Candeias-Oliveira, Minas Gerais, Brasil. (Aceito no 32º Congresso Internacional de Geologia, Florença, agosto de 2004).

CAMPELLO, M. S. et al. Técnicas de geoprocessamento na prospecção de rochas ornamentais: uso potencial de imagens de satélite, levantamento aerogeofísico e SIG. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais ...* São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1749-1755. CD-ROM.

CARANASSIOS, A. Panorama das rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo. In: CALVO PEREZ, B.; MAYA SANCHES, M. *Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 107-114.

CARNEIRO, C. C. *Interpretação de dados de sensores remotos e aerogeofísicos como ferramenta na análise estrutural da área Centro-Oeste do Sistema Transcorrente Carajás (PA)*. 2005. Dissertação. (Mestrado em Geociências – Área de Metalogênese). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARNEIRO, M.; CARVALHO JÚNIOR, I. M.; FERNANDES, R. A.; TEIXEIRA, W. Geologia da parte de segmento crustal situado entre as cidades de Oliveira, Campo Belo e Santana do Jacaré - MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9, 1997. Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: SBG - Núcleo Minas Gerais/ UFOP - Escola de Minas, 1997. Boletim 14, p. 36-37.

CHICA-OLMO, M. et al. *Caracterización de estándares de rocas ornamentales mediante análisis de imagen de superficie del producto final (COSS)*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE LA PIEDRA, 2., Madrid, 1998.

CHIODI FILHO, C. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. *Estudos e Documentos*, Rio de Janeiro, n. 28, p. 53-60, 1995.

CHIODI FILHO, C. *Conheça mármore e granitos*. Belo Horizonte: SIMAGRAN/MG, 1999.

CORDEIRO, J. P. et al. *Álgebra de geo-campos e suas aplicações*. São José dos Campos: INPE/DPI, 1998.

COSTA, A. G. Condicionamento estrutural, textural e metamórfico de quartzitos com aplicação no setor das rochas ornamentais. Submetido para apresentação no *VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, SBG/Núcleo Bahia-Sergipe, 1999.

COSTA, A. G. Evolução petrológica para uma seqüência de rochas metamórficas regionais do tipo baixa pressão na Região de Itinga, NE de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 19, n. 4, p. 440-448, 1990.

COSTA, A. G.; OLIVEIRA, S. F.; MELO, E. L.; FREITAS J. R. L. Caracterização de quartzitos mineiros e suas aplicações no setor das rochas ornamentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998. p.307.

COSTA, C. S. *Petrogênese do corpo meta-ultramáfico do Córrego dos Boiadeiros, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. 1995. 172 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DAVIS, C.; FONSECA, F. *Introdução aos sistemas de informação geográficos*. Belo Horizonte: UFMG/ Instituto de Geociências/ Departamento de Cartografia, 1999. Notas de aula do Curso de Especialização Geoprocessamento. 235 p.

DEBRET, Jean-Baptiste. Pedreira: 1826. In: CASTRO Maya: colecionador de Debret. São Paulo: Capivara, 2003. p. 143. Aquarela, 16,2x22,3cm.

DESCHAMPS, E. et al. Panorama do setor das rochas ornamentais e de revestimento. In: MINAS AMBIENTE: controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé. Belo Horizonte: Sebrae, 2002. p. 34.

DUSSIN, T. M. *Associations volcano-plutoniques de L'Espinhaço Meridional (SE -Brésil): um exemple d'évolon de la croûte protérozoïque*. 1994. Tese (Doutorado). L'Université D'Orleans, Orléans.

DUTRA, L. V.; MENESES, P. R. Realce de cores em imagens de sensoriamento remoto utilizando rotação de matiz no espaço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO TELECOM, 1987, Campinas. *Anais ...* Campinas, 1987. p. 205-212.

ERSOY, A.; WALLER, M.D. Textural characterization of rocks. *Engineering Geology*, v. 39, p. 123-136, 1995.

FERNANDES, M. L. S. *O Granito Borrachudos entre Guanhães e Dores de Guanhães, M.G. (Plutonito Morro do Urubu): gênese e evolução*. 2001. 160p. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.



FERNANDES, R. A.; CARNEIRO, M. A.; TEIXEIRA, W. O metamorfismo das rochas de Região de Santana do Jacaré, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9., 1997, Ouro Preto. *Anais ...* Ouro Preto: SBG - Núcleo de Minas Gerais/UFOP - Escola de Minas, 1997. Boletim 14, p. 45-46.

FERRARI, C. Uso das rochas ornamentais em projetos urbanos e arquitetônicos. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1., 2001, Salvador. *Anais*. 2001.

FERREIRA, S. N. *Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na Pedreira Knawa, Cláudio (MG)*. 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

FRANÇA, A. V. M. *Avaliação da metodologia de fusão de dados por transformação no espaço de cores (IHS), no estudo geológico/geofísico a oeste de Unaí-Minas Gerais*. 2003. Monografia. (Especialização em Geoprocessamento). Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FRANÇA, J. L. et al. *Manual para normalização de publicações técnico-científicas*. 7. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2004.

FRASCÁ, M. H. B. O. *Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento*. 2003. 264p. Tese. (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Seleção de pedras para revestimentos e prioridades requeridas. *Rochas de Qualidade*, São Paulo, n. 124, p. 80-93, set./out.1998.

GAIR, J. E. *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. 1962. U. S. Geological. Survey. Professional Paper, 341-A.111p.

GALLO, J. et al. Perfil geológico dos terrenos granito-*greenstone* arqueanos e unidades paleoproterozóicas do cinturão mineiro, setor sul do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, 1997, Campos do Jordão. *Guia de excursões*. p. 87-90.

GEOLOGYof the Alps. Disponível em: [http://www.fact-index.com/g/ge/geology\\_of\\_the\\_alps.html](http://www.fact-index.com/g/ge/geology_of_the_alps.html) >. Acesso em: 04/04/2004.

GIVISIEZ, G. H. N. *Implantação de um sistema de informações geográficas para estabelecimento de saúde da rede pública da região de Pedro Leopoldo – MG*. 1999. 99 p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GOETZ, A.F.H. Spectral remote sensing in geology. In: ASRAR, G. (Ed.). *Theory and applications of optical remote sensing*. New York: J. Wiley, 1989. cap. 12, p. 491-526.

HARDER, E. C.; CHAMBERLAIN, R. T. The geology of Central Minas Gerais, Brazil – Part I & II, *J. Geol.*, Chicago, v. 23, n. 4, p. 341-378; v. 23, n. 5, p.385-424, 1915.

HARRIS, J.; MURRAY, R.; HIROSE, T. HIS transform for the integration of radar imagery and other remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 56, n. 12, p. 1631-1641, 1990.

HEILBRONNER, R. Automatic grain boundary detection and grain size analysis using polarization micrographics or orientation images. *Journal of Structural Geology*, v. 22, p. 969-981, 2000.

HOWARTH, D.F.; ROWLANDS, J. C. Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotech. Testing J.*, v. 9, p. 169-179, 1986.

INSERÇÃO setorial do Estado de Minas Gerais. In: PROJETO Rochas de Minas: estudo de competitividade do setor de rochas ornamentais e de revestimento do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: IEL/MG/ SIN-ROCHAS-MG, 2003. p.33-46.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING*: Ajuda. Disponível em: [file:///c:/arquivos%20de%20programas/spring411\\_enge/ajuda](file:///c:/arquivos%20de%20programas/spring411_enge/ajuda) Acesso em: 11/01/2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING* – Classificação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20/04/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING* - Classificação: para executar uma classificação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20/04/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING* – Consulta a bancos de dados. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20/04/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING* – Segmentação: para executar uma segmentação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20/04/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Processamento de Imagens. *SPRING* – Segmentação de imagens. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20/04/2004.

KOUAKOU, R. N'D., SILVA, J.X. Geoprocessamento aplicado à avaliação de geopotencialidade agroterritorial. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento & análise ambiental*: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 301-352.

LAND cover and change analysis glossary. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center, 2006.

LANDSAT. USGS, 1995. Disponível em: <<http://edc.usgs.gov/glis/hyper/directory/landsat>> Acesso em: 15/03/2005.

- LANDSAT project: technical details. USGS, 2005. Disponível em: <[http://edc.usgs.gov/technical\\_details/](http://edc.usgs.gov/technical_details/)> Acesso em: 30/01/2006.
- LAPIDUS, D. F. et al. *Collins dictionary geology*. Glasgow: Harper Collins, 2003. 480 p.
- LAURANGE, P. *Granulometry*. 2002. 11p. Document written for Surface Inspection.
- LAURANGE, P. *Image segmentation techniques*. 2003. 15 p.
- LAURANGE, P. *Stone Analyser*: desenvolvimento do programa. Bologna: Departamento de Engenharia Química e Ambiental, Universidade de Bologna, 2002.
- LAURANGE, P.; BONDUÁ, S. *Applications of digital technologies for the natural stone industry*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL, ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO, 2003, Lisboa. 8 p.
- LAURANGE, P.; BONDUÁ, S. *Applications of digital technologies for the natural stone industry*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PEDRA NATURAL, 2003, Lisboa.
- MAGALHÃES, A. C. F.; VASCONCELLOS, H. G. *Panorama de rochas ornamentais na Bahia*. 2. ed. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1994. 106 p.
- MAILLARD, P. *Introdução ao processamento digital de imagens*. Belo Horizonte: UFMG/ Instituto de Geociências/ Departamento de Cartografia, 2001. 30 p. Notas de aulas do Curso de Geoprocessamento.
- MAILLARD, P. *Introdução ao sensoriamento remoto*. Belo Horizonte: UFMG/ Instituto de Geociências/ Departamento de Cartografia, 2000. Notas de aulas do Curso de Geoprocessamento. 50 p.
- MAURÍCIO, A.; FIGUEIREDO, C. Texture analysis of grey-tone images by mathematical morphology: a nondestructive tool for the quantitative assessment of stone decay. *Mathematical Geology*, v. 32, n. 5, p. 619-642, 2000.
- MENDES, V. A. Relação entre os eventos geológicos e a formação dos jazimentos de rochas ornamentais. *Rochas de Qualidade*, ano 36, ed. 169, p.162- 177, mar./abr. 2003.
- MENDES, J. C.; EVANGELISTA, H. J. Rochas ornamentais do Estado de Minas Gerais, Brasil. In: CALVO PEREZ, B.; MAYA SANCHES, M. *Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 115-132.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado das Minas e Energia. *Levantamento aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2, Pitangui/São João Del Rei/Ipatinga*; relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos. Rio de Janeiro: LASA Engenharia e Prospecção LTDA., 2001. v.1, Texto técnico.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Minas e Metalurgia. CODEMIG; BRASIL. Ministério das Minas e Metalurgia. CPRM. *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais*. 2003. Edição especial. CD-ROM.

MOREIRA, M. A. Sensores utilizados para coleta de dados em nível orbital. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos do sensoriamento remoto: metodologias de aplicação*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. cap. 7, p.139-155.

MOTOKI, A. et al. Captura direta de imagens macroscópicas de rochas via scanner. *Mineração Metalurgia*, n. 553, p. 25-30, 1999.

MOTOKI, A. et al. Quantitative analysis of rock and mineral surface color for ornamental and semi-ornamental rocks using image scanner. *Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 32, n. 1, p. 12-22, 2003.

MOTOKI, A., NEVES, J. L. P.; VARGAS, T. Quantitative color analysis using digital specification technique for Mármore Beje Bahia, a representative Brazilian ornamental limestone. *Rev. Esc. Minas*, Ouro Preto, v. 58, n. 2, p. 113-120, 2005a.

MOTOKI, A.; NEVES, J. L. P.; VARGAS, T. Digital specification of whole-rock and spot colours of *Mármore Beje Bahia*, a Brazilian light yellow limestone of Breccia texture. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1., 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari, 2005b.

MOTOKI, A.; VARGAS, T.; PEIXOTO, J. L. N. Análise quantitativa das cores de feldspato alcalino, nefelina e sodalita em rochas ornamentais. *Mineração Metalurgia*, n. 55, p. 25-30, 2000.

MOTOKI, A.; ZUCCO, L. L. Digital colour specification for ornamental rocks using image scanner: its technical challenge, on-going development, further innovation and application. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1., 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari, 2005.

MOTOKI, A.; ZUCCO, L. L.; FREITAS, A. Ornamental and artistic applications of basalt, an attractive variation of *porphyry* of South-Most Brazil, with special attention to its colour variation. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1., 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari, 2005c.

MOURA, A. C. M. *Análise espacial*. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais. 17 p. Notas de aulas do Curso de Especialização em Geoprocessamento.

MOURA, A. C. M. *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. Belo Horizonte; Edição da autora, 2003. 294p.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento aplicado à caracterização e planejamento urbano de Ouro Preto-MG. In: SILVA, J. X.; Z Aidan, R. T. *Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 217-258.

MOURA, A. C. M. et al. Utilização de mapa de drenagem como subsídio para a montagem de SIG para a análise da distribuição da esquistossomose em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais ...* São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3551-3558. CD-ROM.

MUGE, F. et al. Characterization of ornamental stones standards by image analysis of Slab Surface (COSS) — Comunicações/Communications EUROMINERALS. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF NATURAL STONES, 2., 1997, Lisbon. AIP/Associação Industrial Portuguesa/, CCI/Câmara de Comércio e Indústria/, FIL/Feira Internacional de Lisboa.

NASA-NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Landsat program summary. In: \_\_\_\_\_. *Landsat program*. 1999. Disponível em <<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lpsum.html>> Acesso em: 26/01/2006.

NEVES, E. G. A velha Hiléia: paisagens e passado dos povos amazônicos. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Museu de Arqueologia e Etnologia. *Brasil 50 mil anos. Uma viagem ao passado pré-colonial*. São Paulo: Edusp/MAE-USP, 2001.

OLIVEIRA, A. H. *Evolução tectônica do segmento crustal arqueano do Cráton do São Francisco Meridional*. 1999. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

OLIVEIRA, S. F. Caracterização petrográfica, estrutural e física de materiais com aplicação no setor de rochas ornamentais. 1998. 123p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, S. F.; COSTA, A. G. Alterações de minerais e outros problemas relacionados aos materiais com aplicação no setor das rochas ornamentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998a. p.301.

OLIVEIRA, S. F.; COSTA, A. G. Relações entre a petrografia e os índices físicos de mármore, quartzitos e granitos ornamentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998b. p.323.

PADILHA, A. V. *Formação Córrego dos Boiadeiros: uma seqüência komatítica na base do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, 1984. v. 6, p. 2688-2679.

PEDROSA SOARES, A. C.; PEDREIRA, A. J. O Setor Setentrional da faixa Araçuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. *Excursão E-12*. Salvador: SBG/ Núcleo Bahia/Sergipe, 1996. 58 p.

PIMENTA, V. B. *Sistemática de investigação geológica na exploração e caracterização de rochas ornamentais: o caso do Giallo Califórnia de Dores de Guanhões – MG*. 2002. 76 p. Dissertação. (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PINTO, L. C. M., *Quantikov: um analisador microestrutural para o ambiente Windows*. 1996. 161p. Tese. (Doutorado em Ciência da Computação). IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RICHARDS, J.A. Sources and characteristics of remote sensing image data. In: \_\_\_\_\_. *Remote sensing digital image analysis*. 1995.

RUGENDAS, Johann Moritz. Vista da montanha do Corcovado e do subúrbio do Catete tomada da Pedreira. DIENER, P.; COSTA, M. F. *Rugendas e o Brasil*. São Paulo: Capivara, 2002. p. 203. Gravura, 23,9x36,4cm.

SCHICK, K. D.; TOTH, N. The dawn's earliest light: the first archaeological traces. In: \_\_\_\_\_. *Making silent stones speak: human evolution and the dawn of technology*. London: Weidenfeld and Nicholson, 1993. p. 78-100.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

SOARES FILHO, B. S. *Cartografia assistida por computador*. Belo horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. 20 p. Notas de aulas do Curso de Especialização em Geoprocessamento.

SOARES FILHO, B. S. *Modelagem de dados espaciais*. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. 20 p. Notas de aulas do Curso de Especialização em Geoprocessamento.

SOFTWARE livre. *Fonte: Tecnologia de Informação na Gestão Pública*, v. 2, n. 2, p. 12-30, jan./jun. 2005.

SPRAY, A. *Metamorphic textures*. Oxford: Pergamon, 1969.

TEIXEIRA, W. et al. Pb, Sr and Nd isotopes constraints on the Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in the Southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, v. 78, p. 151-164, 1996.

TEIXEIRA, W. *A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas*. 1985. 207 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TEIXEIRA, W. Perfil geológico dos terrenos granito-greenstone arqueanos e unidades paleoproterozóicas do cinturão mineiro, setor sul do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, 1997, Campos do Jordão. *Guia de excursões*. p. 75, 83-86.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U. G.; NUTMAN, A. P.; SATO, K. Polyphase crustal in the late Archean: the case of the Campo Belo metamorphic complex. In: SIMPÓSIO DE TERRENOS ARQUEANOS DA PLATAFORMA SUL-AMERICANA, 1996, Brasília. *Anais ... Brasília: SBG*, 1996.

THE ALPS. Disponível em: <  
encyclopedia.thefreedictionary.com/Geology%20of%/20the%alps >. Acesso em: 04/04/2004.

TORQUATO, J. R.; BESSA, M. F.; FERNANDES, H. M. Uso do PUNDIT na determinação de anomalias ultra-sônicas em blocos rochosos. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. *Anais*. Recife: CETEM/UFPE, 2002. p. 20-23.

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. 303-317, 1998.

ULASAY, R., TURELI, K.; IDER, M. H. Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*, v. 37, p. 135-157, 1994.

VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, F. A. C. Rochas ornamentais do Estado do Ceará. In: CALVO PEREZ, B.; MAYA SANCHES, M. *Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 93-106.

YOUNG, I. T.; GERBRANDS, J. J.; VLIET, L. J. von. *Fundamentals of image processing*. Delft: Delft University of Technology, 1998.

WINTERS, A. A. M.; EBERT, H. *O maciço cinético da Pedra Branca, Município de Caldas, MG*. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. *Anais...* Recife, 1978. v. 3, p. 1364-1370.

ZAIDAN, R. T.; SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento de áreas com necessidade de proteção: o caso do Parque Estadual do Ibitipoca. In: SILVA, J. X.;

ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 31-65.

## **ANEXOS**



## Anexo I – Tabela Síntese dos Resultados

| NOME              | AMOSTRA | DIÂMETRO MÉDIO<br>(mm) | LARGURA MÉDIA<br>(mm) | ÁREA MÉDIA<br>(mm <sup>2</sup> ) | MAIOR DIÂMETRO<br>(mm) | MAIOR LARGURA<br>(mm) |
|-------------------|---------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Verde Savana      | GBR01   | 0,16981                | 0,26637               | 0,03954                          | 1,33018                | 2,89824               |
| Knawa             | GRB02   | 0,16366                | 0,26420               | 0,04795                          | 1,56178                | 2,24034               |
| Verde Van Gogh    | GBR03   | 0,13403                | 0,20951               | 0,02928                          | 1,90727                | 3,12139               |
| Branco Nepal      | GBR06   | 0,17651                | 0,27185               | 0,04100                          | 1,61576                | 2,53484               |
| Verde Candeias    | IBGM04  | 0,38114                | 0,62714               | 0,23822                          | 4,27558                | 8,10037               |
| Violeta Candeias  | GRA01   | 0,16258                | 0,25466               | 0,04148                          | 1,51425                | 3,14489               |
| Nero P Rosa       | GRA03   | 0,11016                | 0,17621               | 0,01443                          | 0,95782                | 1,78781               |
| Serizzo Formasa   | VCO01   | 0,15477                | 0,25067               | 0,03377                          | 2,07061                | 2,56436               |
| Beola Grigia      | VCO04   | 0,24615                | 0,39961               | 0,08859                          | 2,85506                | 3,74211               |
| Beola Chiandonata | VCO05   | 0,15026                | 0,24767               | 0,02434                          | 0,79221                | 2,35592               |
| Rosa Baveno       | VCO09   | 0,16419                | 0,27514               | 0,05405                          | 2,00924                | 3,18066               |
| Giallo Califórnia | BB_01   | 0,16542                | 0,26375               | 0,03885                          | 1,83878                | 4,44719               |
| DQ_04             | DQ_04   | 0,12001                | 0,18512               | 0,01540                          | 0,70786                | 1,49841               |
| Serpentinito      | SE      | 0,06067                | 0,09015               | 0,00352                          | 0,19715                | 0,31579               |
| Esteatito         | ES      | 0,18000                | 0,29304               | 0,04720                          | 1,01696                | 1,64500               |
| Ultramáfica       | UL      | 0,12552                | 0,19437               | 0,01785                          | 0,94276                | 2,04435               |

| NOME              | AMOSTRA | MAIOR ÁREA<br>(mm <sup>2</sup> ) | MENOR ÁREA<br>(mm <sup>2</sup> ) | SDV ÁREA | ÍNDICE DE<br>MICROFISSURAMENTO | MASSA ESPECÍFICA<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------|--------------------------------|--|
| Verde Savana      | GBR01   | 1,38967                          | 0,00081                          | 0,09636  | 37,50000                       | 2,64000                                  |
| Knawa             | GRB02   | 1,91572                          | 0,00076                          | 0,16044  | 50,00000                       | 2,66000                                  |
| Verde Van Gogh    | GBR03   | 2,85703                          | 0,00057                          | 0,12405  | 75,00000                       | 2,63000                                  |
| Branco Nepal      | GBR06   | 2,05042                          | 0,00114                          | 0,09764  | 50,00000                       | 2,64000                                  |
| Verde Candeias    | IBGM04  | 14,35756                         | 0,00380                          | 0,74643  | 50,00000                       | 2,70000                                  |
| Violeta Candeias  | GRA01   | 1,80089                          | 0,00083                          | 0,12127  | 62,50000                       | 2,67000                                  |
| Nero P Rosa       | GRA03   | 0,72055                          | 0,00112                          | 0,03196  | 37,50000                       | 2,72000                                  |
| Serizzo Formasa   | VCO01   | 3,36736                          | 0,00094                          | 0,12589  | 37,50000                       | 2,63000                                  |
| Beola Grigia      | VCO04   | 6,40209                          | 0,00187                          | 0,28584  | 87,50000                       | 2,60000                                  |
| Beola Chiandonata | VCO05   | 0,49291                          | 0,00177                          | 0,03437  | 50,00000                       | 2,67000                                  |
| Rosa Baveno       | VCO09   | 3,17070                          | 0,00079                          | 0,22256  | 62,50000                       | 2,71000                                  |
| Giallo Califórnia | BB_01   | 2,65553                          | 0,00155                          | 0,11355  | 62,50000                       | 2,63000                                  |
| DQ_04             | DQ_04   | 0,39354                          | 0,39354                          | 0,02537  | 37,50000                       | 3,04000                                  |
| Serpentinito      | SE      | 0,03053                          | 0,00091                          | 0,00376  | 37,50000                       | 2,68000                                  |
| Esteatito         | ES      | 0,81226                          | 0,00106                          | 0,08703  | 37,50000                       | 2,77000                                  |

Ultramáfica      UL      0,69806      0,00211      0,03534      37,50000      2,97000

### Anexo I – Tabela Síntese dos Resultados (continuação)

| NOME              | AMOSTRA | POROSIDADE (%) | ABSORÇÃO (%) | DESGASTE (mm) | COMPRESSÃO (MPA) | FLEXÃO (MPA) |
|-------------------|---------|----------------|--------------|---------------|------------------|--------------|
| Verde Savana      | GBR01   | 0,47000        | 0,18000      | 1,32000       | 133,62000        | 9,17000      |
| Knawa             | GRB02   | 0,27000        | 0,10000      | 0,79000       |                  |              |
| Verde Van Gogh    | GBR03   | 0,35000        | 0,13000      | 0,66000       |                  | 15,35000     |
| Branco Nepal      | GBR06   | 0,44000        | 0,16000      | 0,57000       | 172,38000        | 13,10000     |
| Verde Candeias    | IBGM04  | 0,31000        | 0,12000      | 0,81000       |                  | 17,69000     |
| Violeta Candeias  | GRA01   | 0,35000        | 0,17000      |               |                  |              |
| Nero P Rosa       | GRA03   | 0,37000        | 0,14000      | 0,74000       | 193,60000        | 27,29000     |
| Serizzo Formasa   | VCO01   |                | 0,41000      |               | 86,00000         | 17,10000     |
| Beola Grigia      | VCO04   |                | 0,58000      |               | 162,00000        | 185,00000    |
| Beola Chiandonata | VCO05   |                | 0,40000      |               | 185,00000        | 19,90000     |
| Rosa Baveno       | VCO09   |                | 0,49000      |               | 92,00000         | 15,10000     |
| Giallo Califórnia | BB_01   | 0,73000        | 0,27000      | 0,78000       | 133,82000        | 13,30000     |
| DQ_04             | DQ_04   | 0,45000        | 0,21000      |               |                  |              |
| Serpentinito      | SE      | 1,20000        | 0,45000      | 1,14000       | 99,62000         | 12,00000     |
| Esteatito         | ES      | 0,91000        | 0,33000      | 4,08000       | 70,86000         | 23,77000     |
| Ultramáfica       | UL      | 0,44000        | 0,19000      |               |                  |              |

| NOME              | AMOSTRA | QUARTZO  | K-FELDSPATO | PLAGIOCLÁSIO | CONTCONV  | POLIGONAL |
|-------------------|---------|----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| Verde Savana      | GBR01   | 37,50000 | 38,60000    | 10,40000     | 85,00000  | 0,00000   |
| Knawa             | GRB02   | 28,00000 | 54,80000    | 9,60000      | 70,00000  | 0,00000   |
| Verde Van Gogh    | GBR03   | 22,00000 | 51,50000    | 21,50000     | 90,00000  | 5,00000   |
| Branco Nepal      | GBR06   | 41,30000 | 51,50000    | 3,30000      | 95,00000  | 0,00000   |
| Verde Candeias    | IBGM04  | 30,30000 | 22,60000    | 32,10000     | 90,00000  | 0,00000   |
| Violeta Candeias  | GRA01   | 30,00000 | 35,00000    | 20,00000     | 90,00000  | 0,00000   |
| Nero P Rosa       | GRA03   | 28,50000 | 48,60000    | 9,40000      | 90,00000  | 0,00000   |
| Serizzo Formasa   | VCO01   | 45,00000 | 35,00000    | 9,00000      | 50,00000  | 25,00000  |
| Beola Grigia      | VCO04   | 42,00000 | 28,00000    | 14,00000     | 40,00000  | 0,00000   |
| Beola Chiandonata | VCO05   | 40,00000 | 33,00000    | 13,00000     | 40,00000  | 0,00000   |
| Rosa Baveno       | VCO09   | 40,00000 | 23,00000    | 17,00000     | 35,00000  | 25,00000  |
| Giallo Califórnia | BB_01   | 39,30000 | 19,40000    | 34,80000     | 88,00000  | 0,00000   |
| DQ_04             | DQ_04   | 0,00000  | 0,00000     | 43,00000     | 45,00000  | 10,00000  |
| Serpentinito      | SE      | 0,00000  | 0,00000     | 0,00000      | 100,00000 | 0,00000   |
| Esteatito         | ES      | 0,00000  | 0,00000     | 0,00000      | 100,00000 | 0,00000   |

Ultramáfica

UL

0,00000

0,00000

0,00000

100,00000

0,00000

**Anexo II – Tabela de correlação entre os parâmetros extraídos pelas microanálises X Características Tecnológicas**

|                         |                     | <b>DIÂMETRO MÉDIO</b> | <b>LARGURA MÉDIA</b> | <b>ÁREA MÉDIA</b> | <b>MAIOR DIÂMETRO</b> | <b>MAIOR LARGURA</b> |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>DIÂMETRO MÉDIO</b>   | Pearson Correlation | 1                     | 0,998764542          | 0,961958086       | 0,910751169           | 0,903785315          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | ,                     | 1,11022E -16         | 2,79557E -09      | 9,52669E -07          | 1,58185E -06         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>LARGURA MÉDIA</b>    | Pearson Correlation | 0,998764542           | 1                    | 0,963682184       | 0,911181667           | 0,902209402          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 1,11022E -16          | ,                    | 2,02986E -09      | 9,22044E -07          | 1,76477E -06         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>ÁREA MÉDIA</b>       | Pearson Correlation | 0,961958086           | 0,963682184          | 1                 | 0,893907913           | 0,901272826          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 2,79557E -09          | 2,02986E -09         | ,                 | 3,05156E -06          | 1,88171E -06         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MAIOR DIÂMETRO</b>   | Pearson Correlation | 0,910751169           | 0,911181667          | 0,893907913       | 1                     | 0,92117509           |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 9,52669E -07          | 9,22044E -07         | 3,05156E -06      | ,                     | 4,10834E -07         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MAIOR LARGURA</b>    | Pearson Correlation | 0,903785315           | 0,902209402          | 0,901272826       | 0,92117509            | 1                    |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 1,58185E -06          | 1,76477E -06         | 1,88171E -06      | 4,10834E -07          | ,                    |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MAIOR ÁREA</b>       | Pearson Correlation | 0,927086742           | 0,928584714          | 0,968330559       | 0,952718214           | 0,917660474          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 2,4189E -07           | 2,10024E -07         | 7,87924E -10      | 1,24961E -08          | 5,52256E -07         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MENOR ÁREA</b>       | Pearson Correlation | -0,17260571           | -0,180980429         | -0,155905537      | -0,24163832           | -0,206148698         |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 0,522664586           | 0,502365818          | 0,564223312       | 0,36726191            | 0,443682513          |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>SDV ÁREA</b>         | Pearson Correlation | 0,937637243           | 0,941783184          | 0,987375663       | 0,930303966           | 0,909330868          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 8,33323E -08          | 5,20618E -08         | 1,3255E -12       | 1,77912E -07          | 1,05989E -06         |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MICRO-FISSURAS</b>   | Pearson Correlation | 0,319073949           | 0,318603324          | 0,236627679       | 0,498485521           | 0,400227756          |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 0,228369626           | 0,229095032          | 0,377582544       | 0,049375561           | 0,124515937          |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>MASSA ESPECÍFICA</b> | Pearson Correlation | -0,232275223          | -0,235999132         | -0,182617065      | -0,36735769           | -0,280357359         |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 0,386674733           | 0,378888281          | 0,49844272        | 0,161587686           | 0,292917855          |
|                         | N                   | 16                    | 16                   | 16                | 16                    | 16                   |
| <b>POROSIDADE</b>       | Pearson Correlation | -0,381827245          | -0,371934418         | -0,301596085      | -0,479388449          | -0,423734156         |
|                         | Sig. (2-tailed)     | 0,220655183           | 0,233846578          | 0,340750712       | 0,114797755           | 0,169847456          |
|                         | N                   | 12                    | 12                   | 12                | 12                    | 12                   |

| <b>ABSOR-<br/>ÇÃO</b>                  | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | -0,079661355<br>0,769320712<br>16 | -0,054246811<br>0,841847035<br>16 | -0,114855433<br>0,671886018<br>16 | -0,029461963<br>0,913749139<br>16 | -0,186130281<br>0,490070545<br>16 |
|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|  |   | <b>DIÂMETRO MÉDIO</b>             | <b>LARGURA MÉDIA</b>              | <b>ÁREA MÉDIA</b>                 | <b>MAIOR DIÂMETRO</b>             | <b>MAIOR LARGURA</b>              |
| <b>DESGASTE<br/>AMSLER</b>             | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,000323677<br>0,999340611<br>9   | 0,012929622<br>0,97366366<br>9    | -0,067470317<br>0,863070951<br>9  | -0,266566698<br>0,488091644<br>9  | -0,268562117<br>0,484715565<br>9  |
| <b>COMPRES-<br/>SÃO</b>                | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,093077487<br>0,798147781<br>10  | 0,070549769<br>0,846438219<br>10  | -0,046574671<br>0,898338623<br>10 | 0,000457012<br>0,999000286<br>10  | 0,182280807<br>0,61424733<br>10   |
| <b>FLEXÃO</b>                          | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,289549121<br>0,361317212<br>12  | 0,289198461<br>0,361925441<br>12  | 0,176454611<br>0,583286113<br>12  | 0,321153722<br>0,30874452<br>12   | 0,102710307<br>0,750758109<br>12  |
| <b>QUARTZO</b>                         | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,369717558<br>0,158705187<br>16  | 0,375012116<br>0,152364292<br>16  | 0,245550869<br>0,359312872<br>16  | 0,505106395<br>0,045969049<br>16  | 0,45184314<br>0,07891381<br>16    |
| <b>KFELDSPATO</b>                      | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,096914067<br>0,721052421<br>16  | 0,090754222<br>0,738183022<br>16  | 0,025002938<br>0,926767545<br>16  | 0,245718289<br>0,358974886<br>16  | 0,160575259<br>0,552461789<br>16  |
| <b>PLAGIO-<br/>CLÁSIO</b>              | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,323791571<br>0,221178331<br>16  | 0,321088895<br>0,225280294<br>16  | 0,339167873<br>0,198749036<br>16  | 0,376346355<br>0,150793788<br>16  | 0,518938533<br>0,039422132<br>16  |
| <b>CONTATO<br/>CÔCAVO-<br/>CONVEXO</b> | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | -0,066840273<br>0,805722839<br>16 | -0,092177669<br>0,734213808<br>16 | 0,011871023<br>0,965196645<br>16  | -0,136158102<br>0,615101141<br>16 | -0,006051673<br>0,982254059<br>16 |
| <b>CONTATO<br/>POLIGONAL</b>           | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | -0,10947004<br>0,686523875<br>16  | -0,086469761<br>0,75016715<br>16  | -0,093286644<br>0,731125841<br>16 | 0,117559831<br>0,664576377<br>16  | -0,050613942<br>0,852326263<br>16 |
| <b>CONTATO<br/>SERRIL</b>              | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,121788264<br>0,65320424<br>16   | 0,142726639<br>0,597979307<br>16  | 0,020306678<br>0,940497369<br>16  | 0,120207372<br>0,657447751<br>16  | 0,025449849<br>0,925461923<br>16  |
| <b>ÍNDICE<br/>COR</b>                  | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,319323866<br>0,227985004<br>16  | 0,33372169<br>0,206517195<br>16   | 0,214487168<br>0,425042607<br>16  | 0,465827648<br>0,068982506<br>16  | 0,370727589<br>0,157482093<br>16  |
| <b>ÍNDICE<br/>QUARTZO</b>              | Pearson Correlation<br>Sig. (2-tailed)<br>N | 0,317634717<br>0,230592583<br>16  | 0,329752077<br>0,212300818<br>16  | 0,183620782<br>0,496043943<br>16  | 0,39802411<br>0,126797539<br>16   | 0,290926671<br>0,27431777<br>16   |

|                         | MAIOR ÁREA   | MENOR ÁREA   | SDV ÁREA     | ÍNDICE DE MICROFISSURAMENTO | MASSA ESPECÍFICA |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|------------------|
| <b>DIÂMETRO MÉDIO</b>   | 0,927086742  | -0,17260571  | 0,937637243  | 0,319073949                 | -0,232275223     |
|                         | 2,4189E-07   | 0,522664586  | 8,33323E-08  | 0,228369626                 | 0,386674733      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>LARGURA MÉDIA</b>    | 0,928584714  | -0,180980429 | 0,941783184  | 0,318603324                 | -0,235999132     |
|                         | 2,10024E-07  | 0,502365818  | 5,20618E-08  | 0,229095032                 | 0,378888281      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>ÁREA MÉDIA</b>       | 0,968330559  | -0,155905537 | 0,987375663  | 0,236627679                 | -0,182617065     |
|                         | 7,87924E-10  | 0,564223312  | 1,3255E-12   | 0,377582544                 | 0,49844272       |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MAIOR DIÂMETRO</b>   | 0,952718214  | -0,24163832  | 0,930303966  | 0,498485521                 | -0,36735769      |
|                         | 1,24961E-08  | 0,36726191   | 1,77912E-07  | 0,049375561                 | 0,161587686      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MAIOR LARGURA</b>    | 0,917660474  | -0,206148698 | 0,909330868  | 0,400227756                 | -0,280357359     |
|                         | 5,52256E-07  | 0,443682513  | 1,05989E-06  | 0,124515937                 | 0,292917855      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MAIOR ÁREA</b>       | 1            | -0,169729632 | 0,983575468  | 0,346685858                 | -0,251049719     |
|                         | ,            | 0,529720761  | 8,2796E-12   | 0,188341261                 | 0,348304944      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MENOR ÁREA</b>       | -0,169729632 | 1            | -0,173648604 | -0,228951755                | 0,715238535      |
|                         | 0,529720761  | ,            | 0,520116594  | 0,393696449                 | 0,001841432      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>SDV ÁREA</b>         | 0,983575468  | -0,173648604 | 1            | 0,30864827                  | -0,222599007     |
|                         | 8,2796E-12   | 0,520116594  | ,            | 0,244780478                 | 0,407307133      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MICRO-FISSURAS</b>   | 0,346685858  | -0,228951755 | 0,30864827   | 1                           | -0,476635114     |
|                         | 0,188341261  | 0,393696449  | 0,244780478  | ,                           | 0,061956321      |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>MASSA ESPECÍFICA</b> | -0,251049719 | 0,715238535  | -0,222599007 | -0,476635114                | 1                |
|                         | 0,348304944  | 0,001841432  | 0,407307133  | 0,061956321                 | ,                |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16                          | 16               |
| <b>POROSIDADE</b>       | -0,331858951 | -0,084686078 | -0,339391088 | -0,318370339                | -0,038264471     |
|                         | 0,291961789  | 0,793572888  | 0,280469465  | 0,313193896                 | 0,906017122      |

|                       |              |              |              |             |             |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|                       | 12           | 12           | 12           | 12          | 12          |
| <b>ABSOR-<br/>ÇÃO</b> | -0,042587865 | -0,107144755 | -0,080822712 | 0,266353012 | -0,19607703 |
|                       | 0,875557912  | 0,692876932  | 0,766044375  | 0,318689361 | 0,466737187 |
|                       | 16           | 16           | 16           | 16          | 16          |

|  | <b>MAIOR ÁREA</b> | <b>MENOR ÁREA</b> | <b>SDV ÁREA</b> | <b>ÍNDICE DE MICROFISSURAMENTO</b> | <b>MASSA ESPECÍFICA</b> |
|--|-------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>DESGASTE<br/>AMSLER</b>             | -0,219016519      | -0,116959903      | -0,152185001    | -0,427363483                       | 0,733265751             |
|  | 0,571275695       | 0,764430737       | 0,695892698     | 0,251240633                        | 0,024574154             |
|  | 9                 | 9                 | 9               | 9                                  | 9                       |
| <b>COMPRES-<br/>SÃO</b>                | 0,001723085       | 0,568876001       | -0,128480179    | 0,241197663                        | -0,317386449            |
|  | 0,996230763       | 0,086130331       | 0,723543182     | 0,502018501                        | 0,371529439             |
|  | 10                | 10                | 10              | 10                                 | 10                      |
| <b>FLEXÃO</b>                          | 0,253822877       | 0,199874158       | 0,189572239     | 0,64489943                         | -0,372558011            |
|  | 0,425998408       | 0,53339842        | 0,555118253     | 0,023558226                        | 0,233001518             |
|  | 12                | 12                | 12              | 12                                 | 12                      |
| <b>QUARTZO</b>                         | 0,328904017       | -0,416575934      | 0,293209964     | 0,450846923                        | -0,728916167            |
|  | 0,213549741       | 0,108471855       | 0,270396039     | 0,079658593                        | 0,001358412             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>KFELDSPATO</b>                      | 0,08138451        | -0,377918758      | 0,0720398       | 0,315838226                        | -0,637212184            |
|  | 0,764460799       | 0,148957047       | 0,790910678     | 0,233386435                        | 0,007932016             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>PLAGIO-<br/>CLÁSIO</b>              | 0,379904826       | 0,587642484       | 0,362898448     | 0,294625714                        | 0,186955453             |
|  | 0,146658842       | 0,016676163       | 0,167129809     | 0,267981613                        | 0,488113917             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>CONTATO<br/>CÔCAVO-<br/>CONVEXO</b> | -0,055477684      | -0,330996371      | -0,04720017     | -0,290976973                       | -0,001982398            |
|  | 0,838302055       | 0,210476863       | 0,862194673     | 0,274231002                        | 0,994186431             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>CONTATO<br/>POLIGONAL</b>           | 0,014469268       | 0,181814862       | 0,008463121     | -0,025449281                       | 0,056549696             |
|  | 0,957584939       | 0,50036383        | 0,975184461     | 0,925463581                        | 0,835216978             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>CONTATO<br/>SERRIL</b>              | 0,062747768       | 0,312196534       | 0,050656716     | 0,341097195                        | -0,031540591            |
|  | 0,817425331       | 0,239114978       | 0,852202739     | 0,196043289                        | 0,90768728              |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>ÍNDICE<br/>COR</b>                  | 0,317281626       | -0,381503184      | 0,268236381     | 0,555783274                        | -0,646700972            |
|  | 0,231140027       | 0,144826853       | 0,315149125     | 0,02539382                         | 0,006782671             |
|  | 16                | 16                | 16              | 16                                 | 16                      |
| <b>ÍNDICE</b>                          | 0,253098774       | -0,362319406      | 0,223781185     | 0,44913829                         | -0,638870925            |

|                |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>QUARTZO</b> | 0,344252284 | 0,167858644 | 0,404755663 | 0,080947766 | 0,007720695 |
|                | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          |

|                         | <b>POROSIDADE</b> | <b>ABSORÇÃO</b> | <b>DESGASTE</b> | <b>COMPRESSÃO</b> | <b>FLEXÃO</b> | <b>QUARTZO</b> | <b>K-FELDSPATO</b> |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|----------------|--------------------|
| <b>DIÂMETRO MÉDIO</b>   | -0,381827245      | -0,079661355    | 0,000323677     | 0,093077487       | 0,289549121   | 0,369717558    | 0,096914067        |
|                         | 0,220655183       | 0,769320712     | 0,999340611     | 0,798147781       | 0,361317212   | 0,158705187    | 0,721052421        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>LARGURA MÉDIA</b>    | -0,371934418      | -0,054246811    | 0,012929622     | 0,070549769       | 0,289198461   | 0,375012116    | 0,090754222        |
|                         | 0,233846578       | 0,841847035     | 0,97366366      | 0,846438219       | 0,361925441   | 0,152364292    | 0,738183022        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>ÁREA MÉDIA</b>       | -0,301596085      | -0,114855433    | -0,067470317    | -0,046574671      | 0,176454611   | 0,245550869    | 0,025002938        |
|                         | 0,340750712       | 0,671886018     | 0,863070951     | 0,898338623       | 0,583286113   | 0,359312872    | 0,926767545        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MAIOR DIÂMETRO</b>   | -0,479388449      | -0,029461963    | -0,266566698    | 0,000457012       | 0,321153722   | 0,505106395    | 0,245718289        |
|                         | 0,114797755       | 0,913749139     | 0,488091644     | 0,999000286       | 0,30874452    | 0,045969049    | 0,358974886        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MAIOR LARGURA</b>    | -0,423734156      | -0,186130281    | -0,268562117    | 0,182280807       | 0,102710307   | 0,45184314     | 0,160575259        |
|                         | 0,169847456       | 0,490070545     | 0,484715565     | 0,61424733        | 0,750758109   | 0,07891381     | 0,552461789        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MAIOR ÁREA</b>       | -0,331858951      | -0,042587865    | -0,219016519    | 0,001723085       | 0,253822877   | 0,328904017    | 0,08138451         |
|                         | 0,291961789       | 0,875557912     | 0,571275695     | 0,996230763       | 0,425998408   | 0,213549741    | 0,764460799        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MENOR ÁREA</b>       | -0,084686078      | -0,107144755    | -0,116959903    | 0,568876001       | 0,199874158   | -0,416575934   | -0,377918758       |
|                         | 0,793572888       | 0,692876932     | 0,764430737     | 0,086130331       | 0,53339842    | 0,108471855    | 0,148957047        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>SDV ÁREA</b>         | -0,339391088      | -0,080822712    | -0,152185001    | -0,128480179      | 0,189572239   | 0,293209964    | 0,0720398          |
|                         | 0,280469465       | 0,766044375     | 0,695892698     | 0,723543182       | 0,555118253   | 0,270396039    | 0,790910678        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MICRO-FISSURAS</b>   | -0,318370339      | 0,266353012     | -0,427363483    | 0,241197663       | 0,64489943    | 0,450846923    | 0,315838226        |
|                         | 0,313193896       | 0,318689361     | 0,251240633     | 0,502018501       | 0,023558226   | 0,079658593    | 0,233386435        |
|                         | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>MASSA ESPECÍFICA</b> | -0,038264471      | -0,19607703     | 0,733265751     | -0,317386449      | -0,372558011  | -0,728916167   | -0,637212184       |
|                         | 0,906017122       | 0,466737187     | 0,024574154     | 0,371529439       | 0,233001518   | 0,001358412    | 0,007932016        |

|                         |             |             |             |              |              |              |              |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | 12          | 16          | 9           | 10           | 12           | 16           | 16           |
| <b>POROSI-<br/>DADE</b> | 1           | 0,986580834 | 0,492063619 | -0,821678798 | -0,137716833 | -0,475967707 | -0,62680198  |
|                         | ,           | 3,35074E-09 | 0,178450834 | 0,044862507  | 0,74502727   | 0,117785166  | 0,029169416  |
|                         | 12          | 12          | 9           | 6            | 8            | 12           | 12           |
| <b>ABSOR-<br/>ÇÃO</b>   | 0,986580834 | 1           | 0,472729548 | -0,363308455 | 0,531880306  | 0,156741027  | -0,364297769 |
|                         | 3,35074E-09 | ,           | 0,198762862 | 0,302115994  | 0,075094037  | 0,562111142  | 0,165377221  |
|                         | 12          | 16          | 9           | 10           | 12           | 16           | 16           |

|  | <b>POROSIDADE</b> | <b>ABSORÇÃO</b> | <b>DESGASTE</b> | <b>COMPRESSÃO</b> | <b>FLEXÃO</b> | <b>QUARTZO</b> | <b>K-FELDSPATO</b> |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|----------------|--------------------|
| <b>DESGASTE<br/>AMSLER</b>             | 0,492063619       | 0,472729548     | 1               | -0,774247164      | 0,377069719   | -0,646400334   | -0,618580652       |
|  | 0,178450834       | 0,198762862     | ,               | 0,070693842       | 0,357151225   | 0,059950466    | 0,07575556         |
|  | 9                 | 9               | 9               | 6                 | 8             | 9              | 9                  |
| <b>COMPRES-<br/>SÃO</b>                | -0,821678798      | -0,363308455    | -0,774247164    | 1                 | 0,249743232   | 0,439095872    | 0,705556437        |
|  | 0,044862507       | 0,302115994     | 0,070693842     | ,                 | 0,486504927   | 0,204231145    | 0,022630621        |
|  | 6                 | 10              | 6               | 10                | 10            | 10             | 10                 |
| <b>FLEXÃO</b>                          | -0,137716833      | 0,531880306     | 0,377069719     | 0,249743232       | 1             | 0,208277681    | -0,021931279       |
|  | 0,74502727        | 0,075094037     | 0,357151225     | 0,486504927       | ,             | 0,515954016    | 0,946063091        |
|  | 8                 | 12              | 8               | 10                | 12            | 12             | 12                 |
| <b>QUARTZO</b>                         | -0,475967707      | 0,156741027     | -0,646400334    | 0,439095872       | 0,208277681   | 1              | 0,689429626        |
|  | 0,117785166       | 0,562111142     | 0,059950466     | 0,204231145       | 0,515954016   | ,              | 0,00313014         |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>KFELDSPATO</b>                      | -0,62680198       | -0,364297769    | -0,618580652    | 0,705556437       | -0,021931279  | 0,689429626    | 1                  |
|  | 0,029169416       | 0,165377221     | 0,07575556      | 0,022630621       | 0,946063091   | 0,00313014     | ,                  |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>PLAGIO-<br/>CLÁSIO</b>              | -0,324151424      | -0,194272253    | -0,424698751    | 0,175626926       | -0,006634096  | 0,118659915    | -0,065244351       |
|  | 0,30399207        | 0,47092972      | 0,254530868     | 0,627448485       | 0,983674863   | 0,661611036    | 0,810281908        |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>CONTATO<br/>CÔCAVO-<br/>CONVEXO</b> | 0,36718225        | -0,57211859     | 0,420691575     | -0,06394995       | -0,43221762   | -0,412069802   | -0,054235215       |
|  | 0,240346287       | 0,020571623     | 0,259521556     | 0,860680178       | 0,160553106   | 0,112740657    | 0,841880444        |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>CONTATO<br/>POLIGONAL</b>           | -0,168152686      | 0,391183        | -0,187227481    | -0,522578745      | -0,156033575  | 0,234314927    | -0,033278866       |
|  | 0,601395996       | 0,134064217     | 0,629550147     | 0,121212173       | 0,628206178   | 0,382399168    | 0,902621636        |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>CONTATO<br/>SERRIL</b>              | -0,388635405      | 0,529533001     | -0,379142201    | 0,288505752       | 0,572445903   | 0,407978355    | 0,084095987        |
|  | 0,211843338       | 0,034902616     | 0,314260828     | 0,418852709       | 0,051756995   | 0,116717163    | 0,756830185        |
|  | 12                | 16              | 9               | 10                | 12            | 16             | 16                 |
| <b>ÍNDICE</b>                          | -0,529704302      | 0,280506261     | -0,704815116    | 0,547222249       | 0,384019991   | 0,900517159    | 0,64251453         |



|                       |                                   |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| <b>COR</b>            | 0,076519274<br>12                 | 0,292650721<br>16                | 0,033977491<br>9                 | 0,101597345<br>10                | 0,217793396<br>12                | 1,98078E -06<br>16               | 0,007272182<br>16               |
| <b>ÍNDICE QUARTZO</b> | -0,553794223<br>0,061742452<br>12 | 0,362252132<br>0,167943458<br>16 | -0,589903559<br>0,094522737<br>9 | 0,464737523<br>0,175965347<br>10 | 0,410062364<br>0,185524589<br>12 | 0,91167062<br>8,88275E -07<br>16 | 0,60723851<br>0,012606658<br>16 |

|                       | <b>PLAGIOCLÁSIO</b>              | <b>CONC-CONV</b>                  | <b>POLIGONAL</b>                  | <b>SERRIL</b>                    | <b>I - COR</b>                    | <b>I - QUARTZO</b>                |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>DIÂMETRO MÉDIO</b> | 0,323791571<br>0,221178331<br>16 | -0,066840273<br>0,805722839<br>16 | -0,10947004<br>0,686523875<br>16  | 0,121788264<br>0,65320424<br>16  | 0,319323866<br>0,227985004<br>16  | 0,317634717<br>0,230592583<br>16  |
| <b>LARGURA MÉDIA</b>  | 0,321088895<br>0,225280294<br>16 | -0,092177669<br>0,734213808<br>16 | -0,086469761<br>0,75016715<br>16  | 0,142726639<br>0,597979307<br>16 | 0,33372169<br>0,206517195<br>16   | 0,329752077<br>0,212300818<br>16  |
| <b>ÁREA MÉDIA</b>     | 0,339167873<br>0,198749036<br>16 | 0,011871023<br>0,965196645<br>16  | -0,093286644<br>0,731125841<br>16 | 0,020306678<br>0,940497369<br>16 | 0,214487168<br>0,425042607<br>16  | 0,183620782<br>0,496043943<br>16  |
| <b>MAIOR DIÂMETRO</b> | 0,376346355<br>0,150793788<br>16 | -0,136158102<br>0,615101141<br>16 | 0,117559831<br>0,664576377<br>16  | 0,120207372<br>0,657447751<br>16 | 0,465827648<br>0,068982506<br>16  | 0,39802411<br>0,126797539<br>16   |
| <b>MAIOR LARGURA</b>  | 0,518938533<br>0,039422132<br>16 | -0,006051673<br>0,982254059<br>16 | -0,050613942<br>0,852326263<br>16 | 0,025449849<br>0,925461923<br>16 | 0,370727589<br>0,157482093<br>16  | 0,290926671<br>0,27431777<br>16   |
| <b>MAIOR ÁREA</b>     | 0,379904826<br>0,146658842<br>16 | -0,055477684<br>0,838302055<br>16 | 0,014469268<br>0,957584939<br>16  | 0,062747768<br>0,817425331<br>16 | 0,317281626<br>0,231140027<br>16  | 0,253098774<br>0,344252284<br>16  |
| <b>MENOR ÁREA</b>     | 0,587642484<br>0,016676163<br>16 | -0,330996371<br>0,210476863<br>16 | 0,181814862<br>0,50036383<br>16   | 0,312196534<br>0,239114978<br>16 | -0,381503184<br>0,144826853<br>16 | -0,362319406<br>0,167858644<br>16 |
| <b>SDV ÁREA</b>       | 0,362898448<br>0,167129809<br>16 | -0,04720017<br>0,862194673<br>16  | 0,008463121<br>0,975184461<br>16  | 0,050656716<br>0,852202739<br>16 | 0,268236381<br>0,315149125<br>16  | 0,223781185<br>0,404755663<br>16  |
| <b>MICRO-FISSURAS</b> | 0,294625714<br>0,267981613<br>16 | -0,290976973<br>0,274231002<br>16 | -0,025449281<br>0,925463581<br>16 | 0,341097195<br>0,196043289<br>16 | 0,555783274<br>0,02539382<br>16   | 0,44913829<br>0,080947766<br>16   |

|                         |              |              |              |              |              |              |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>MASSA ESPECÍFICA</b> | 0,186955453  | -0,001982398 | 0,056549696  | -0,031540591 | -0,646700972 | -0,638870925 |
|                         | 0,488113917  | 0,994186431  | 0,835216978  | 0,90768728   | 0,006782671  | 0,007720695  |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16           | 16           | 16           |
| <b>POROSIDADE</b>       | -0,324151424 | 0,36718225   | -0,168152686 | -0,388635405 | -0,529704302 | -0,553794223 |
|                         | 0,30399207   | 0,240346287  | 0,601395996  | 0,211843338  | 0,076519274  | 0,061742452  |
|                         | 12           | 12           | 12           | 12           | 12           | 12           |
| <b>ABSORÇÃO</b>         | -0,194272253 | -0,57211859  | 0,391183     | 0,529533001  | 0,280506261  | 0,362252132  |
|                         | 0,47092972   | 0,020571623  | 0,134064217  | 0,034902616  | 0,292650721  | 0,167943458  |
|                         | 16           | 16           | 16           | 16           | 16           | 16           |

|                               | <b>PLAGIOCLÁSIO</b> | <b>CONTCONV</b> | <b>POLIGONAL</b> | <b>SERRIL</b> | <b>ICOR</b>  | <b>IQUARTZO</b> |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|-----------------|
| <b>DESGASTE AMSLER</b>        | -0,424698751        | 0,420691575     | -0,187227481     | -0,379142201  | -0,704815116 | -0,589903559    |
|                               | 0,254530868         | 0,259521556     | 0,629550147      | 0,314260828   | 0,033977491  | 0,094522737     |
|                               | 9                   | 9               | 9                | 9             | 9            | 9               |
| <b>COMPRESSÃO</b>             | 0,175626926         | -0,06394995     | -0,522578745     | 0,288505752   | 0,547222249  | 0,464737523     |
|                               | 0,627448485         | 0,860680178     | 0,121212173      | 0,418852709   | 0,101597345  | 0,175965347     |
|                               | 10                  | 10              | 10               | 10            | 10           | 10              |
| <b>FLEXÃO</b>                 | -0,006634096        | -0,43221762     | -0,156033575     | 0,572445903   | 0,384019991  | 0,410062364     |
|                               | 0,983674863         | 0,160553106     | 0,628206178      | 0,051756995   | 0,217793396  | 0,185524589     |
|                               | 12                  | 12              | 12               | 12            | 12           | 12              |
| <b>QUARTZO</b>                | 0,118659915         | -0,412069802    | 0,234314927      | 0,407978355   | 0,900517159  | 0,91167062      |
|                               | 0,661611036         | 0,112740657     | 0,382399168      | 0,116717163   | 1,98078E-06  | 8,88275E-07     |
|                               | 16                  | 16              | 16               | 16            | 16           | 16              |
| <b>KFELDSPATO</b>             | -0,065244351        | -0,054235215    | -0,033278866     | 0,084095987   | 0,64251453   | 0,60723851      |
|                               | 0,810281908         | 0,841880444     | 0,902621636      | 0,756830185   | 0,007272182  | 0,012606658     |
|                               | 16                  | 16              | 16               | 16            | 16           | 16              |
| <b>PLAGIOCLÁSIO</b>           | 1                   | -0,304329769    | 0,135291573      | 0,296740454   | 0,094399237  | -0,031116113    |
|                               | ,                   | 0,251787656     | 0,61737409       | 0,264399712   | 0,728031687  | 0,908924799     |
|                               | 16                  | 16              | 16               | 16            | 16           | 16              |
| <b>CONTATO CÔCAVO-CONVEXO</b> | -0,304329769        | 1               | -0,594026687     | -0,953668016  | -0,52192238  | -0,60865472     |
|                               | 0,251787656         | ,               | 0,015251982      | 1,08689E-08   | 0,038107064  | 0,01234599      |
|                               | 16                  | 16              | 16               | 16            | 16           | 16              |
| <b>CONTATO POLIGONAL</b>      | 0,135291573         | -0,594026687    | 1                | 0,327216424   | 0,231380062  | 0,247227663     |
|                               | 0,61737409          | 0,015251982     | ,                | 0,216049004   | 0,388559285  | 0,355935807     |
|                               | 16                  | 16              | 16               | 16            | 16           | 16              |
| <b>CONTATO SERRIL</b>         | 0,296740454         | -0,953668016    | 0,327216424      | 1             | 0,536727224  | 0,632873847     |
|                               | 0,264399712         | 1,08689E-08     | 0,216049004      | ,             | 0,03206512   | 0,008506454     |
|                               |                     |                 |                  |               |              |                 |

|                           |              |             |             |             |             |             |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           | 16           | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          |
| <b>ÍNDICE<br/>COR</b>     | 0,094399237  | -0,52192238 | 0,231380062 | 0,536727224 | 1           | 0,897661834 |
|                           | 0,728031687  | 0,038107064 | 0,388559285 | 0,03206512  | ,           | 2,39591E-06 |
|                           | 16           | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          |
| <b>ÍNDICE<br/>QUARTZO</b> | -0,031116113 | -0,60865472 | 0,247227663 | 0,632873847 | 0,897661834 | 1           |
|                           | 0,908924799  | 0,01234599  | 0,355935807 | 0,008506454 | 2,39591E-06 | ,           |
|                           | 16           | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          |