

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

Universidade Federal do R. G. Sul
Instituto de Geociências
Biblioteca

15703

T
528.8
H698T

GEO
1997/212098-4
1997/10/02
3204

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADAS AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO NO
MUNICÍPIO DE TRÊS CACHOEIRAS, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO
SUL

Rosemary Hoff

Geóloga, Especialista em Gerenciamento Ambiental (UNISINOS)

Orientador: Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain

Dissertação apresentada como requisito para obtenção
do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto

Porto Alegre, RS, Brasil
julho de 1996

HOFF, ROSEMARY

Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao mapeamento geológico/geotécnico no município de Três Cachoeiras, litoral norte do Rio Grande do Sul.

Rosemary Hoff - Porto Alegre, 1996. 131 páginas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Área de Sensoriamento Remoto Aplicado às Geociências.

1. Mapeamento geotécnico
2. Geoprocessamento aplicado ao planejamento territorial
3. Sensoriamento remoto aplicado ao planejamento territorial
4. Litoral norte do Rio Grande do Sul

*“Um homem sério não tem idéias.
O homem de idéias nunca fica sério.”*

Paul Valéry

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain, pela aceitação no mestrado, pela aprovação de minhas idéias, pelo incentivo e apoio em geral, pelas sugestões, pelo coleguismo e amizade dentro do Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências desta Universidade.

Ao Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, representado na pessoa do Prof. Dr. Franz Reiner Semmelmann. Aos funcionários do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pelo empenho na resolução dos vários problemas, representados principalmente pelo amigo José Carlos Nunes, pelas horas de paciência além da hora. Ao colega pesquisador e professor Alfonso Rizzo, também pela paciência ao fornecer muitos ensinamentos sobre geoprocessamento.

À equipe de segurança do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, representada por Adriano Nascimento, pela atenção e defesa dos pesquisadores, principalmente no adiantado da hora.

Aos colegas da turma de 1993, Antônio Valente, Eduardo Posse, Elaine Pocos, Eliseu Weber, Glauber Gonçalves, João Paulo Pohlmann, Luís Otávio Claro, Marcelo Moraes, Régis Lahm e Ulisses Bremer, pela amizade, coleguismo e pelos momentos inesquecíveis. Aos colegas e amigos das turmas anteriores e posteriores, Daniel Caimi, Antônio Frasca, Marcelo Bastos, Maurício Matta, Cátia Pires, Sérgio Florêncio, Alexandre Monchinski, e aos colegas geólogos Marcos Freitas e Márcio Klein, pelo companheirismo e amizade.

Aos meus familiares, por incentivarem e acreditarem na profissão de geóloga, pesquisadora e professora. E ao Fábio, por ter permitido minha ausência e falta de atenção, agradeço e peço muitas desculpas.

Agradeço também àqueles que me incentivaram a fazer o mestrado e que foram decisivos, como os amigos Geólogo Antônio Roberto Rodrigues e Geólogo Pierre Munaro, bem como aqueles que me recomendaram ao CPGSR, o Prof. Henrique Carlos Fensterseifer, do Departamento de Geologia da UNISINOS e os Prof^{es}. Evandro Lima e Roberto Cunha do Instituto de Geociências da UFRGS.

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul os apoios diversos e ao Departamento de Geodésia as cedências e o apoio em geral, bem como à PROPESP (UFRGS) pelo auxílio concedido ao final desta dissertação.

À banca examinadora, pelo trabalho árduo dos Profs. Francisco H. S. Magro, Dirce M. A. Suertegaray e Tânia M. Sausen, por ler linha por linha, figura por figura o estudo alheio, e um especial agradecimento à Dra. Tânia M. Sausen pelo inestimável auxílio dado para a finalização desta dissertação.

À HAR - Engenharia e Meio Ambiente, aos amigos Eng^o. Fernando Hartmann e Eng^o. René de Mattos Caraméz, pela gentileza do empréstimo das imagens utilizadas, as quais compuseram parte fundamental deste estudo.

À Prefeitura Municipal de Três Cachoeiras, pela atenção dada ao estudo, pelo fornecimento de informações e de dados que nortearam este trabalho.

Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicadas ao Mapeamento Geológico/Geotécnico no Município de Três Cachoeiras, Litoral Norte do RS.

AUTOR: Rosemary Hoff

ORIENTADOR: Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain

SINOPSE

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são fundamentais para processamento e integração de dados de mapeamento geológico/geotécnico, principalmente estudos de gerenciamento e planejamento. A área estudada compreende o município de Três Cachoeiras, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, o qual inclui-se na "Reserva da Biosfera da Mata Atlântica". O município tem se deparado com problemas de localização de sítios adequados à disposição final dos resíduos sólidos, bem como o assentamento de loteamentos residenciais e industriais, localização de jazidas de extração de material para construção, fontes de abastecimento de água e necessidade de criação de áreas de preservação ambiental. O objetivo deste trabalho foi produzir mapeamentos da área em questão, através da pesquisa geológico-geotécnica, desenvolvida com emprego de imagens de satélite e fotografias aéreas, em que as informações foram cruzadas no SIG. Baseado nisto, investigaram-se os aspectos acima mencionados, a partir de uma contribuição geológico/geotécnica ao município, incluindo-se levantamento de campo, fotointerpretação, processamento e classificação de imagens do município de Três Cachoeiras, sendo os dados integrados num sistema de geoprocessamento. Utilizando-se cartas planialtimétricas, fotografias aéreas e imagens de satélite LANDSAT TM 5, foram criados planos de informação como o limite da área estudada, a estrutura viária municipal, a delimitação de reservas ecológicas baseada na legislação ambiental vigente e, por meio do modelo numérico do terreno, a carta de declividade. A fotointerpretação gerou planos de rede de drenagem, litologia, morfoestruturas e formações superficiais. Os dados de campo, sobrepostos às litologias obtidas por fotointerpretação, produziram a carta litológica. No tratamento das imagens, foram gerados produtos com contraste, operações entre bandas, filtragens e análise de componentes principais, os quais contribuíram para classificação da imagem e resultando nos planos de rochas/solos e cobertura/uso do solo (carta de uso atual do solo). O cruzamento destas informações permitiu a obtenção da carta de formações superficiais, hidrogeológica que, juntamente com as cartas litológica, declividades e uso atual do solo distribuíram os atributos do meio físico em planos elaborados por novos cruzamentos, que satisfazem o objetivo do estudo, sendo estes planos o produto final, ou seja, as cartas de recomendação: à extração de materiais para construção civil; à implantação de obras de infraestrutura; à disposição de resíduos sólidos e loteamentos; geotécnica à agricultura; à implantação de áreas destinadas à preservação ambiental e recuperação.

/1 Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (131 p), julho de 1996.

Remote Sensing and Geoprocessing Techniques Applied to geological/Geotechnical Mapping on Três Cachoeiras County, North Coast of Rio Grande do Sul State, BR.

AUTHOR: Rosemary Hoff

ADVISOR: Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain

ABSTRACT

Remote sensing and GIS techniques are basic for processing and integration in geological/geotechnical mapping, mainly in management and planning studies. The surveyed area was Três Cachoeiras County, north coast of Rio Grande do Sul, Brazil, which is included in "Mata Atlântica Biosphere Reserve". This investigation results in thematic maps, such as declivity, lithology, hidrogeology, surface formations and land use. Such maps were crossed and superposed. The mentioned county has problems in terms of waste sites as well as supply and environmental preservation sites. Such aspects were surveyed from a geological/geotechnical point of view, that includes integration by geological/geotechnical mapping, image processing and classification and data integration by geoprocessing techniques. By means topographic maps, aerial photographs and TM LANDSAT 5 images layers were developed such as terrain numerical model, declivity map, county boundaries, ecological reserves limits based on current environmental laws and county road system. The photointerpretation generated drainage network, lithologies, morphostructures and surface formation layers. Fieldwork data was superposed on photolithology to generate a lithological map. Image processing used techniques such as enhancement, stretching, filtering and principal components analysis which contribute to classify the image. As results, the lithology/soil and cover/land use were obtained, generated a current land use map. Surface formations map was obtained by crossing aerial surface formations data and image lithology/soils data. Environmental physics attributes were clustered by crossing and distributed in recommendation maps containing building material extraction, waste sites and human/industry settlement, building construction works, agriculture and environmental preservation and reclamation areas.

/1 Master of Science thesis, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Post-Graduate Course in remote Sensing, universidade federal do Rio Grande do Sul, porto Alegre, RS, (131 p.) - July, 1996.

SUMÁRIO

Agradecimentos	iii
Sinopse	iv
Abstract	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Fotografias	ix
Lista de Anexos	x
Lista de Abreviaturas e Símbolos	x
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	5
3. Materiais e Método	17
3.1. Materiais Utilizados	17
3.2. Método	18
3.2.1. Fotointerpretação	20
3.2.2. Trabalhos de campo	22
3.2.3. Tratamento de imagens	24
3.2.4. Geoprocessamento	30
4. Resultados e Discussões	39
4.1. Fotointerpretação	39
4.1.1. Rede de Drenagem	39
4.1.2. Litologia	42
4.1.3. Formações Superficiais	46
4.1.4. Morfoestruturas	47
4.2. Trabalhos de Campo	50
4.2.1. Litologia	50
4.2.2. Aspectos geotécnicos	57
4.2.3. Aspectos econômicos	64
4.3. Tratamento de Imagens	67
4.3.1. Aumento de contraste	68
4.3.2. Seleção de bandas	70
4.3.3. Operações aritméticas	73
4.3.4. Filtragens	76
4.3.5. Aplicação de componentes principais	78
4.3.6. Classificação de imagens	81
4.4. Geoprocessamento	87
4.4.1. Produtos Preliminares	87
4.4.2. Produtos de cruzamentos iniciais	98
4.4.3. Produtos de cruzamentos finais	105
5. Conclusões e Recomendações	118
Referências Bibliográficas	125
Anexos	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais aplicações das bandas espectrais do TM LANDSAT 5	14
Tabela 2 - Esquema de cruzamentos no SIG	38
Tabela 3 - Parâmetros estatísticos básicos das bandas utilizadas	67
Tabela 4 - Matriz de variância/covariância	67
Tabela 5 - Matriz de correlação	68
Tabela 6 - Parâmetros estatísticos modificados por contraste das bandas utilizadas.	68
Tabela 7 - Seleção de bandas para cobertura/uso do solo	70
Tabela 8 - Seleção de bandas para rochas/solos	70
Tabela 9 - Seleção de triplete de bandas pelo Fator de Índice Ótimo - FIO	71
Tabela 10 - Parâmetros estatísticos de bandas geradas por adição e de suas respectivas bandas com histogramas ampliados.	73
Tabela 11 - Principais componentes e seus histogramas expandidos.	78
Tabela 12 - Matriz de classificação para rochas/solos.	82
Tabela 13 - Matriz de classificação para cobertura/uso do solo.	85
Tabela 14 - Distribuição das classes do PI Declividade.	87
Tabela 15 - Distribuição das classes do PI limites de reservas ecológicas.	88
Tabela 16 - Comparação entre análises de lineamentos dos PIs rede de drenagem obtida pela carta planialtimétrica e rede de drenagem obtida por fotointerpretação.	91
Tabela 17 - Distribuição das classes do PI Litologia obtida por fotointerpretação.	91
Tabela 18 - Distribuição das classes do PI formações superficiais obtida por fotointerpretação.	92
Tabela 19 - Comparação entre análises de lineamentos dos PIs morfoestruturas e rede de drenagem obtidas por fotointerpretação.	93
Tabela 20 - Distribuição das classes do PI rochas/solos obtidos pela classificação da imagem.	93
Tabela 21 - Distribuição das classes do PI Carta de Uso Atual do Solo obtida pela classificação da imagem.	96
Tabela 22 - Distribuição das classes do PI Carta Litológica	98
Tabela 23 - Distribuição das classes do PI Carta de Formações Superficiais	99
Tabela 24 - Distribuição das classes do PI Carta Hidrogeológica	102
Tabela 25 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Extração de Materiais para Construção.	105
Tabela 26 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação Geotécnica à agricultura.	108
Tabela 27 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de Resíduos Sólidos e Lotamentos.	111
Tabela 28 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de Obras de Infra-estrutura.	113
Tabela 29 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de áreas de Preservação Ambiental e/ou Destinadas à Recuperação.	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de situação do município de Três Cachoeiras	2
Figura 2 - Fluxograma de atividades	19
Figura 3 - Rede de drenagem obtida por fotointerpretação.	41
Figura 4 - Litologia obtida por fotointerpretação.	45
Figura 5 - Formações superficiais obtidas por fotointerpretação.	48
Figura 6 - Morfoestruturas obtidas por fotointerpretação.	49
Figura 7 - Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 TM LANDSAT 5, com aumento de contraste.	69
Figura 8 - Combinação em composições coloridas entre bandas 3,4, e 5.	72
Figura 9 - Bandas obtidas por adição com aumento linear de contraste.	74
Figura 10 - Composições coloridas entre bandas geradas por adição.	75
Figura 11 - Tipos de filtros aplicados sobre a banda 4 do TM LANDSAT 5.	77
Figura 12 - Componentes principais com aumento de contraste.	79
Figura 13 - Combinação em composições coloridas entre bandas C1, C2, e C3.	80
Figura 14 - Classificação "maxver" para rochas/solos.	83
Figura 15 - Classificação "maxver" para cobertura/uso do solo.	86
Figura 16 - Carta de declividades	89
Figura 17 - Áreas limites de reservas ecológicas	90
Figura 18- Rochas/solos gerados por classificação de imagens e máscara.	95
Figura 19 - Carta de uso atual do solo obtida por classificação de imagens e máscara	97
Figura 20 - Carta litológica	100
Figura 21 - Carta de formações superficiais	101
Figura 22 - Carta hidrogeológica	104
Figura 23 - Carta de recomendação à extração de material de construção civil.	107
Figura 24 - Carta de recomendação geotécnica à agricultura.	109
Figura 25 - Carta de recomendação geológico-geotécnica à implantação de resíduos sólidos e loteamentos.	112
Figura 26 - Carta de recomendação à implantação de obras de infraestrutura.	114
Figura 27 - Carta de recomendação à implantação de áreas de preservação ambiental e/ou destinadas à recuperação.	117

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Vista de sudoeste para nordeste do município de Três Cachoeiras.	51
Foto 2 - Vista para leste da área estudada.	51
Foto 3 - Afloramento de basalto.	52
Foto 4 - Rochas ácidas a intermediárias da Formação Serra Geral.	52
Foto 5 - Solos desenvolvidos sobre rochas da Formação Serra Geral.	54
Foto 6 - Depósitos de colúvio em corte de estrada.	54
Foto 7 - cultura de abacaxi sobre depósitos de colúvios em altas declividades.	55
Foto 8 - Afloramento de areias pleistocênicas ferruginosas	55
Foto 9 - Escavação em terraço lagunar	56
Foto 10 - Desnível topográfico entre terraço lagunar e planície lagunar.	56
Foto 11 - Terraço aluvial pleistocênico.	58
Foto 12 - Leito de cascalhos do rio do Terra.	58
Foto 13 - Terraço lagunar à beira da lagoa de Itapeva.	59
Foto 14 - Delta progradante do rio Cardoso dentro da lagoa Itapeva.	59
Foto 15 - - Delta progradante do rio Três Forquilhas dentro da lagoa Itapeva.	60
Foto 16 - Aspecto de sítio abandonado de pedreira.	60
Foto 17 - Erosão de depósitos coluvionares causada pelo mau uso do solo.	62
Foto 18 - Deslizamento de terra em colúvios em corte de estrada.	62
Foto 19 - Cultivo de banana e outras culturas atingindo o topo da elevação.	65
Foto 20 - Cultivo de banana no sopé da encosta.	65
Foto 21 - Estrada municipal não pavimentada.	66
Foto 22 - Estrada municipal pavimentada com medidas de contenção de taludes.	66

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 - Ficha de levantamento de campo
- Anexo 2 - Mapa de localização das tomadas fotográficas
- Anexo 3 - Histogramas originais e expandidos das bandas 1, 2 e 3 TM LANDSAT 5.
- Anexo 4 - Histogramas originais e expandidos das bandas 4, 5 e 7 TM LANDSAT 5.
- Anexo 5 - Histogramas originais e expandidos das bandas obtidas por adição 1+2, 3+4 e 5+7.
- Anexo 6 - Histogramas originais e expandidos das bandas C1, C2 e C3.
- Anexo 7 - Limite da área estudada e estrutura viária obtidos da Carta Planialtimétrica.
- Anexo 8 - Curvas de nível obtidas da Carta Planialtimétrica
- Anexo 9 - Modelo numérico do terreno

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- APA - área de preservação ambiental
- APC - análise por componentes principais
- CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
- CEPSRM - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
- cm - centímetro
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DMA - Departamento do Meio Ambiente
- EIA/RIMA - Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- FIO - fator de índice ótimo
- GERCO - Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro
- ha - hectares
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFOV - campo de visada instantâneo
- IHS - intensidade, matiz e saturação
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- J-M - distância Jeffreys-Matusita
- km² = quilômetro quadrado
- LANDSAT TM 5 - Satélite com sensor temático
- LINORS - Projeto de Informações Básicas para a Gestão Territorial do Litoral Norte do Rio Grande do Sul
- MNT - modelo numérico do terreno
- ND - número digital
- NE-SW - nordeste-sudoeste
- NW-SE - noroeste-sudeste
- PI - plano de informação
- RGB - vermelho, verde e azul

SIG - Sistema de Informações Geográficas
SGLTNPE - SIG desenvolvido pelo INPE
SIGERCO - Sistema de Gerenciamento Costeiro
SPVS - Sociedade para Pesquisa em Vida Selvagem
SPOT - Satélite Probatoire d'Observation de la Terre
SR - Sensoriamento Remoto
SITIM - Sistema De Tratamento de Imagens
3D - três dimensões
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM - projeção universal transversa de Mercator
x = coordenada de coluna
y = coordenada de linha
z = atributo numérico digital

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas, na sua maioria, mantêm vínculo direto com a superfície do terreno. O comportamento desta superfície depende diretamente da natureza geológica e das características geomorfológicas do mesmo, bem como das condições de recobrimento do solo e do clima atuante na região.

Desta forma, percebe-se a necessidade de conhecer detalhadamente o relevo de uma região e a natureza de seu subsolo, a fim de controlar seus aspectos desfavoráveis e aproveitar suas aptidões no que diz respeito às questões ambientais. A contribuição oferecida conjuntamente pela geologia e a geomorfologia neste sentido, deve ser de ordem prática, com a finalidade de subsidiar estudos geotécnicos, ambientais e outros.

Os impactos ambientais gerados sobre o meio físico, abrangendo os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e inclusive climáticos podem desencadear e/ou manter relação direta com elementos dos meios biótico e antrópico, afetando ecossistemas e comprometendo a qualidade de vida do elemento humano.

Neste momento, o emprego de tecnologias que permitam um estudo mais abrangente e que os dados se processem com maior rapidez, a exemplo do Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG), podem adaptar e aprimorar metodologias tradicionais de levantamentos na área das geociências. O SR e SIG vem sendo bastante desenvolvidos para estudos de regiões costeiras, tanto no Brasil como em outros países. No âmbito municipal, constitui auxílio ao interesse e às necessidades das comunidades, tendo em vista que a problemática municipal gira em torno de dificuldades de locação de sítios para disposição de resíduos sólidos e para assentamento de loteamentos.

A área escolhida para a realização do estudo é o município de Três Cachoeiras, o qual está situado no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, conforme mostra a Figura 1, situado aproximadamente entre as seguintes coordenadas geográficas 29° 16' 22" e 29° 35' 27" de latitude Sul; 49° 42' 26" e 50° 09' 19" de longitude Oeste.

O município de Três Cachoeiras faz parte do Litoral Norte do RS, região compreendida entre o limite com o estado de Santa Catarina e o município de Cidreira, juntamente com os municípios de Arroio do Sal, Capão da Canoa, Imbé, Maquiné.

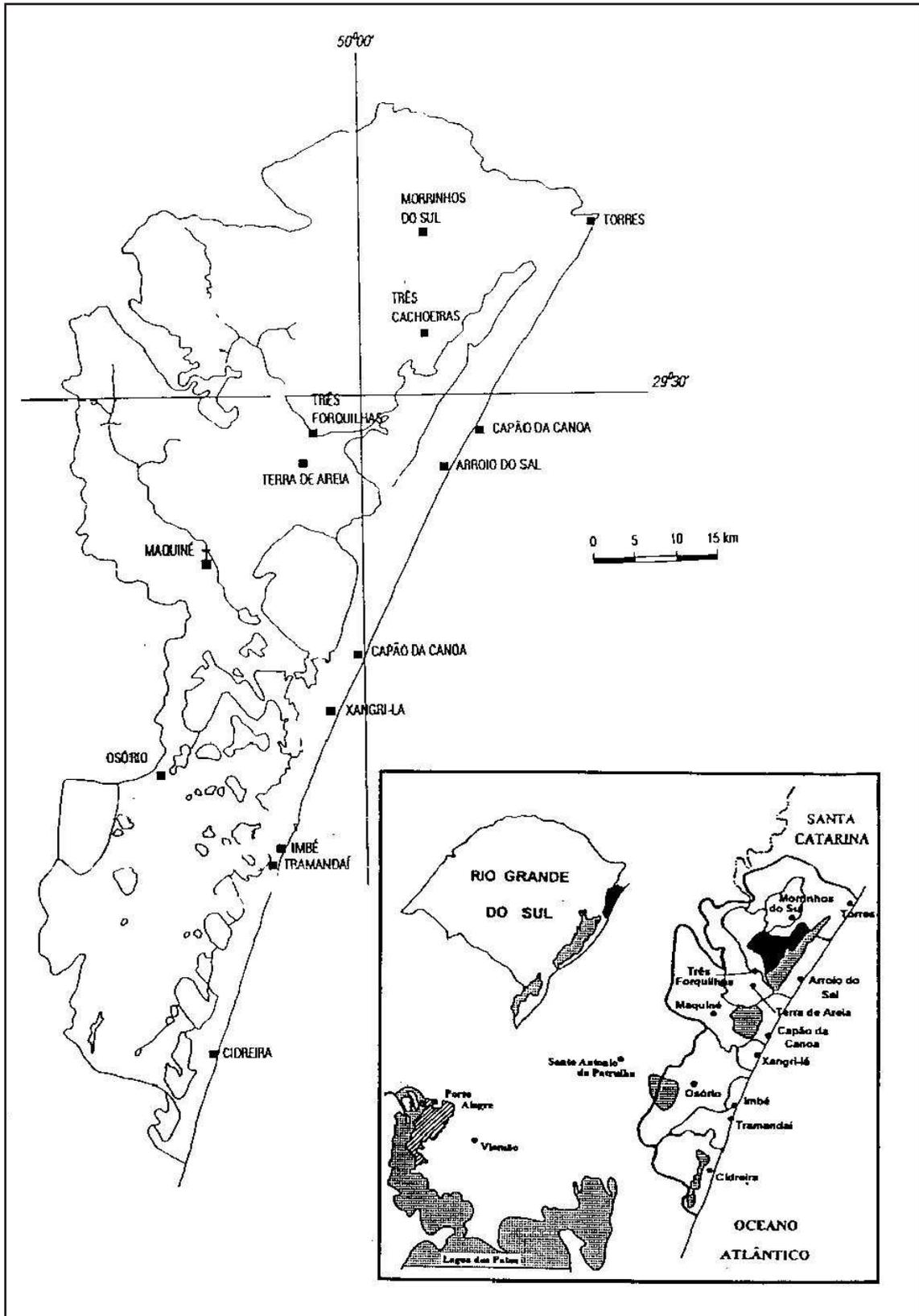


Figura 1 - Mapa de situação do Município de Três Cachoeiras.

Morrinhos do Sul, Santo Antônio da Patrulha, Terra de Areia, Torres, Tramandai, Três Forquilhas e Xangrilá, conforme atual divisão política vigente a partir de 01.01.93. No final de 1995, a localidade de Morro Azul, pertencente à Morrinhos do Sul, optou pela anexação a Três Cachoeiras através de plebiscito. A população residente, determinada pelo recenseamento de 1991 é de 7990 habitantes, distribuída numa área de 219,4 quilômetros quadrados, tendo densidade demográfica de 36,42 habitantes/km². A população urbana, com 3453 habitantes, perfaz uma porcentagem de 41,4 %, enquanto que a população rural com 4537 habitantes, compõe 58,6 %.

Os contatos com a Prefeitura Municipal de Três Cachoeiras, através de sua administração atual, levantaram as necessidades daquele município, das quais foram eleitas aquelas que são passíveis de serem investigadas no âmbito do assunto proposto, sendo estas, a busca de áreas propícias a materiais de construção civil (areia, cascalho e rocha) para pavimentação de rodovias vicinais, áreas favoráveis à agricultura e zonas com probabilidade de conter água subterrânea. Tendo em vista que a problemática dos municípios em geral se depara com problemas de localização de sítios adequados à disposição final de resíduos sólidos, bem como para o assentamento de loteamentos residenciais ou industriais, procurou-se investigar estes aspectos, a partir de uma visão geológico/geotécnica daqueles problemas.

A área do município de Três Cachoeiras está totalmente incluída na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, decretada pela UNESCO em 08.10.93, sendo também objeto de estudo do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro - GERCO. Visando envolver o município na questão ambiental, bem como na Política Nacional de Meio Ambiente, procurou-se recomendar zonas propícias à criação de áreas de preservação ambiental - APAs dentro do município.

Três Cachoeiras, situada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, caracteriza-se numa zona visada por projetos de empreendimentos de natureza turística e rodoviária, entre outros. No entanto, os diversos empreendimentos e projetos implantados na região, bem como aqueles ainda não aprovados, caracterizam-se pela inadequação às condições naturais da região. Isto tem gerado equívocos muitas vezes traduzidos em impactos ambientais por vezes irreversíveis, que do contrário poderiam ter sido evitados ou pelo menos, minimizados, se houvessem diretrizes ambientais estabelecidas em planos diretores dos municípios da região.

A área em estudo mostra indícios de degradação do seu solo e subsolo, causado pelo uso agrícola de suas encostas, principalmente quando há o abandono das lavouras, resultando em superfícies descobertas. No entanto, com o desenvolvimento das culturas e seu avanço sobre as encostas, poderão ser gerados impactos ambientais no meio físico, refletindo-se principalmente como erosão superficial do solo, que posteriormente evoluem para sulcamentos, seguida por deslizamentos, podendo chegar ainda a escorregamentos, descalçamento e rolamento de blocos.

A rede viária do interior do município ainda não apresenta problemas geotécnicos maiores, por se tratar de obras de pequeno porte. No entanto, melhoramentos da rede viária, com a finalidade de facilitar o escoamento da produção e dar acesso a locais turísticos, podem gerar impactos ambientais característicos de obras rodoviárias, como é o exemplo de um município vizinho, Terra de Areia, por ocasião da rodovia "Rota do Sol".

Este estudo teve como objetivo gerar mapeamentos em função das necessidades levantadas sobre a área em questão, através da pesquisa geológico-geotécnica, desenvolvida com emprego de imagens de satélite e fotografias aéreas, em que as informações fossem cruzadas no SIG, e desta forma pretendendo contribuir para o planejamento municipal de Três Cachoeiras, visando também subsidiar projetos de gerenciamento da área em foco, seja na questão de ocupação do solo, preservação de áreas de interesse ecológico, recuperação de áreas degradadas, expansão urbana e implantação de obras de infraestrutura, entre outras necessidades.

Assim, a partir de levantamentos das condições ambientais do meio físico, tais como declividades, litologias, formações superficiais, águas subterrâneas frente ao uso atual do solo, recomendaram-se zonas favoráveis à extração de materiais para construção civil, à implantação de obras de infraestrutura, à disposição de resíduos sólidos e loteamentos, à agricultura e à implantação de áreas de preservação ambiental.

Os resultados de um zoneamento desta natureza também devem contribuir para estudos ambientais previstos na legislação ambiental (CONAMA, 1986) referida para empreendimentos abrangidos dentro da política nacional de meio ambiente.

Pelo exposto, justifica-se um trabalho de pesquisa aplicada, a nível de mestrado, explorando-se os aspectos geológicos, geotécnicos e ambientais de uma região, empregando-se técnicas de SR e SIG, com vistas a produzir mapeamentos direcionados às necessidades municipais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos sobre zoneamento territorial, para fins de planejamento e gerenciamento intensificaram-se no Brasil nesta década de noventa. Porém, já nos anos setenta, Jean Tricart estudou o relevo de uma forma dinâmica, fato este que tornou a geomorfologia uma ciência aplicável ao ordenamento dos meios naturais, principalmente contribuindo para estudos ambientais (TRICART, 1977).

Num estudo feito sobre a região costeira do Paraná, MERICO (1987) observou que fatores como o substrato rochoso, declividades, forma das vertentes e a presença de formações superficiais determinaram a estabilidade morfodinâmica do terreno, juntamente com a cobertura vegetal, condições climáticas e o nível de degradação do solo. A exemplo de TRICART (op. cit.), propôs a ordenação dos terrenos baseando-se principalmente nos aspectos geológico-geomorfológicos. Seguindo esta linha, GOMES et alii (1987) efetuaram estudo na planície costeira sul do Estado do Rio Grande do Sul, num zoneamento ecológico que utilizou imagens de satélite.

O "Plano Integrado de Conservação para Região de Guaraqueçaba", Estado do Paraná, enfoca muito bem as áreas do conhecimento com enfoque ambiental, no que diz respeito ao meio biótico e antrópico (SPVS, 1992), porém carece de estudo geológico-geomorfológico que localizasse os principais problemas geotécnicos sabidamente existentes na área e que constituem sérios problemas ambientais. No entanto, mais adiante lançou-se uma publicação sobre o "Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba" (IPARDES, 1995), na qual o diagnóstico ambiental aborda melhor os aspectos geotécnicos da região, não sendo, porém, produzidos mapeamento específico para o assunto.

O Programa de Gerenciamento Costeiro - GERCO/RS, baseou-se entre outros aspectos, na geologia e geomorfologia da região costeira do Rio grande do Sul, para elaboração da "Carta de Unidades Ambientais" (VELASQUES, 1992), considerando-os como fortes condicionantes ambientais. Produziu-se um mapeamento na escala 1:100.000. VENEZIANI et al. (1990) utilizaram imagens de satélite TM LANDSAT 5 no macrozoneamento de parte do litoral paulista, das quais foram extraídos dados geológicos e geomorfológicos como contribuição para este zoneamento.

O Projeto Informações Básicas para Gestão Territorial do Litoral Norte do Rio Grande do Sul - LINORS, proposto pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais -

CPRM está sendo desenvolvido no sentido de diagnosticar problemas ambientais relativos ao meio físico, propondo ações para minimizá-los, junto aos órgãos federais, estaduais e municipais, além de conter um cadastro dos documentos existentes sobre a área, como mapas, recobrimento aerofotogramétrico, imagens de satélite, dados terrestres a exemplo de poços, estações hidrométricas, áreas de mineração, entre outros (TRAININI, 1994). Na mesma linha cadastral, tem-se o trabalho de VERDINELLI & VERDINELLI (1994), aplicado à gestão ambiental de zonas costeiras.

Quanto aos mapeamentos geotécnicos para planejamento regional e municipal, os pioneiros vieram de São Paulo, tendo-se a cartografia geotécnica de São Carlos (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1981), de Cuiabá (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1984), do centro-leste do Estado de São Paulo (GANDOLFI & ZUQUETTE, 1989) e da região de Campinas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1990 e PARAGUASSU et alii, 1991).

Destaca-se no entanto, a proposta de uma sistemática para mapeamento geotécnico regional de ZUQUETTE & GANDOLFI (1987), na qual são integrados dados geotécnicos com topográficos, imagens de satélite e informações sobre cobertura/uso do solo, produzindo-se unidades de combinação, por meio do sucessivo cruzamento entre atributos considerados no mapeamento geotécnico.

O estudo da região de Campinas (SP) por ZUQUETTE & GANDOLFI (1992) produziu o agrupamento dos atributos investigados em cartas de declividade, do substrato rochoso, de materiais inconsolidados e de unidades hidrogeológicas, compondo o mapeamento geotécnico da região.

SARAIVA & RODRIGUES (1994) consideraram as formas de relevo, os materiais inconsolidados e o substrato rochoso no estabelecimento de unidades geológico-geotécnicas, as quais contribuíram para compor cartas de aptidão, como por exemplo, para o assentamento de aterros sanitários.

A aplicação de sistemas de geoprocessamento para o mapeamento geotécnico foi discutida também por MOREIRA & ZUQUETTE (1993).

Quanto ao uso de sensoriamento remoto em planejamento territorial, VEDOVEILLO & MATTOS (1990) compararam elementos texturais e estruturais de imagens de satélite LANDSAT e SPOT, visando o mapeamento geotécnico para subsidiar o planejamento ambiental de áreas litorâneas. Estes autores estudaram mais adiante, as coberturas de alteração como forma de obtenção de mapeamento geotécnico por meio da análise de

produtos orbitais, para fins de múltiplo uso no município de Ubatuba, litoral paulista (VEDOVELLO & MATTOS, 1991). Propuseram ainda, uma compartimentação fisiográfica para o zoneamento geotécnico pela análise da paisagem, envolvendo aspectos geomorfológicos, geológicos e da vegetação extraídos das imagens de satélite (VEDOVELLO & MATTOS, 1992). VEDOVELLO (1993) desenvolveu também o zoneamento geotécnico empregando sensoriamento remoto com relação à expansão urbana.

Para finalidades específicas como a localização de áreas propícias à instalação de resíduos sólidos, RUEDA & MATTOS (1994), desenvolveram uma metodologia que implicou na análise do meio físico, utilizando imagens TM LANDSAT 5 e fotografias aéreas. Com relação às áreas de risco, OKIDA & VENEZIANI (1994) as caracterizaram no litoral paulista usando imagens digitais, estabelecendo zonas sujeitas a escorregamentos e inundações.

No que se refere a levantamentos de material de alteração de rocha, RIEDEL, et al.(1987), RIEDEL, (1988) e JIMÉNEZ et al.(1990) estudaram as formações superficiais e coberturas de alteração de rocha, empregando sensoriamento remoto, com vistas ao planejamento municipal da região de Rio Claro. Quanto ao mapeamento geológico regional, OLIVEIRA et al.(1989) realizaram este estudo usando imagens de satélite no estado de Rondônia.

Na área do município de Três Cachoeiras encontram-se nove unidades litoestratigráficas distribuídas em duas unidades geomorfológicas distintas que são, segundo o IBGE (1986), a Serra Geral e a Planície Lagunar.

Cronologicamente, existe um grupo litoestratigráfico mais antigo, constituído por arenitos eólicos de ambiente desértico depositados no período Jurássico (Formação Botucatu), recobertos por ampla capa de basaltos resultantes de vulcanismo fissural em derrames ocorrido do Jurássico ao Cretáceo (Formação Serra Geral), incluindo também diques diabásicos encaixados nas rochas anteriores (IBGE, op. cit.).

Após um hiato temporal, propiciou-se a formação de uma extensa superfície, provavelmente devido à separação continental Brasil-África, dando-se origem à planície costeira e gerando litologias correspondentes às terceira e quarta transgressões marinhas quaternárias do final do período Pleistoceno e de todo o período Holoceno (VILLWOCK et alii, 1994).

Segundo HORN F^o et al. (1984), na região de Três Cachoeiras encontram-se as seguintes unidades correspondentes à Planície Costeira:

- depósitos de encosta, incluindo tálus e leques aluviais antigos e atuais;
- depósitos lagunares, incluindo depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial;
- depósitos cônicos de dunas litorâneas antigas;
- depósitos marinhos praias antigas.

A área do município de Três Cachoeiras pode ser classificada geomorfologicamente, segundo IBGE (op. cit.), como uma transição entre o Planalto das Araucárias e a Planície Costeira Interna, apresentando as seguintes unidades geomorfológicas:

- Serra Geral;
- Planície Alúvio-Coluvionar;
- Planície Lagunar.

Sobre estas, desenvolveram-se tanto modelados de dissecção quanto de acumulação.

As bacias hidrográficas pertencentes ao município de Três Cachoeiras, as quais deságuam principalmente na lagoa Itapeva são:

- bacia do arroio Paraíso;
- bacia do rio do Terra-Cardoso;
- bacia do Pontal;
- bacia do arroio Chimarrão;
- bacia do Caravaggio.

O rio Cardoso, principal curso d'água que passa pelo município de Três Cachoeiras, é classificado no grupo dos rios meandrantos dos sistemas aluviais da planície costeira norte do Rio Grande do Sul, juntamente com os rios Maquiné e Três Forquilhas (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1991). Secundariamente, pode-se dizer que o arroio Chimarrão também se enquadra na categoria citada, porque possui as mesmas características genéticas e morfológicas dos rios maiores.

Quanto aos aspectos climáticos da região, o município de Três Cachoeiras situa-se numa zona exposta aos sistemas de circulação extratropicais, sendo o clima resultante da

interação das massas de ar e dos elementos orográficos formadores da Serra Geral. As principais massas de ar perturbadoras que incidem sobre a área em estudo são:

- massa tropical atlântica;
- massa polar atlântica;
- massa tropical continental;
- correntes perturbadoras de leste e nordeste;
- correntes perturbadoras de sul.

Segundo IBGE (1986), o balanço hídrico aponta para a região estudada um excedente hídrico entre 300-800 mm anuais, significando um volume d'água disponível para o deflúvio superficial e para a recarga de aquíferos. O município de Três Cachoeiras está definido dentro de uma região maior como pertencendo a um clima úmido e mesoclimas médio (c₂) e fraco (c₃).

Em relação ao uso do solo, AYUP-ZOUAIN & OLIVEIRA (no prelo), obtiveram percentuais para estrutura fundiária do município de Três Cachoeiras com o seguinte tamanho de propriedades:

- menor do que 10 ha - 36,1 %
- de 10 a 20 ha - 30,8 %
- de 20 a 50 ha - 27,5 %
- de 50 a 100 ha - 4,3 %
- de 100 a 200 ha - 0,9 %
- de 200 a 500 ha - 0,3 %
- maior do que 500 ha - 0,0 %

Segundo estes autores, estabeleceu-se o uso do solo para o Litoral Norte conforme as classes de água, mata nativa, campos de duna, área urbana, policultura, hortigranjeiros, cultivo de cana, reflorestamento, pousio, arroz e banhado.

O Litoral Norte caracteriza-se pelo estabelecimento de propriedades rurais com áreas inferiores a 50 hectares. Esta região constitui-se numa diversificada e importante zona agrícola, produtora e exportadora, estando também sua pecuária entre as mais desenvolvidas do estado do RS. Três Cachoeiras é destacadamente grande produtor de abacaxi e a maior produtora de banana e açúcar do estado, sendo o município de Três Cachoeiras o maior produtor de banana.

A situação da área frente à legislação ambiental confronta o município de Três Cachoeiras segundo o Projeto Mata Atlântica, Projeto GERCO - Gerenciamento Costeiro e também frente às Resoluções do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.

A delimitação da área da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul foi estabelecida pelo IBAMA através da Portaria nº 438 de 04.08.89, nos seguintes termos:

“Entre os paralelos 29° S e 30° S e os meridianos 49° 30' W e 50° 30' W, que compreende as faixas florestais situadas nas bordas do planalto, escarpas e superfícies do litoral. Florestas situadas na serra do Umbu, vale do Maquiné, morro Antionha, vale do Três Forquilhas, Rincão dos Kroeff, Aratinga, serra das Pedras Brancas, Jarapá e vale do Rio Mampituba até o Parque Nacional dos Aparados da Serra”.

Este perímetro abrange a totalidade de alguns e parte de outros municípios, como é o caso de Osório, Maquiné, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, São Francisco de Paula, Cambará do Sul, Terra de Areia, Torres e, particularmente, a totalidade do município de Três Cachoeiras.

Em 08.10.93, a Mata Atlântica foi reconhecida pela UNESCO como Reserva da Biosfera, vislumbrando programas de cooperação internacional. No mesmo ano, a FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental elaborou proposta para regulamentação do Art. 6º do Decreto 750/93 e da Resolução do CONAMA nº 10/93, referentes à Mata Atlântica. Esta proposta visou os estágios sucessionais das formações vegetais existentes na região da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, a fim de viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo e conservação da vegetação natural.

Vinculado ao Programa Nacional de Meio Ambiente, instituiu-se em 1988, através da Lei nº 7661/88, o Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro - GERCO, objetivando a utilização racional dos recursos da zona costeira, a melhoria da qualidade de vida das populações locais e a proteção do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural da região costeira. O Rio Grande do Sul é membro do GERCO através da FEPAM, sendo que esta instituição estabeleceu o gerenciamento ao longo de uma faixa litorâneo-costeira que possui 650 quilômetros de comprimento, a qual foi dividida em três zonas, que são o Litoral Norte - entre Torres e Cidreira, o Litoral Médio - entre Cidreira e Rio grande, abrangendo o leste e o oeste da laguna dos Patos e o Litoral Sul - entre Rio Grande e Santa Vitória do Palmar. No início de 1994, foi criado um banco de dados com informações de toda zona costeira, sendo

os mesmos reunidos pelo SIGERCO), um sistema que permite o cruzamento das cartas temáticas desenvolvidas, balizando a definição de diretrizes ambientais para a região.

O denominado Projeto de Informações Básicas para a Gestão Territorial do Litoral Norte do Rio Grande do Sul - LENORS, desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, visa o estudo dinâmico dos aspectos ambientais litorâneos. Dentro deste tem-se o Diagnóstico Preliminar dos Aspectos Ambientais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul (TRAININI, 1994), que objetivou caracterizar o meio físico da região e seus problemas ambientais, propondo soluções que visem subsidiar órgãos federais e estaduais, bem como as prefeituras que atuam na região.

No que tange à Três Cachoeiras, este projeto diagnostica os seguintes aspectos ambientais:

“- abastecimento de água pela Companhia Riograndense de Abastecimento - CORSAN, para 250 famílias por poço com 200 metros de profundidade, com o restante da população abastecendo-se por meio de ponteciras:

- esgotamento de efluentes domésticos por meio de fossas sépticas e sumidouros em terreno arenoso;

- os resíduos sólidos são dispostos enterrados a uma distância de 2000 metros da sede municipal, em terreno arenoso ondulado;

- a extração mineral é feita em saibreira, sendo que as pedreiras de Torres abastecem o município;

- os problemas ambientais apontam para poluição dos aquíferos por meio de esgotos domésticos, havendo necessidade de localizar nova jazida de saibro.”

Para sanar estes e outros problemas ambientais, o diagnóstico sugere, de forma geral, para a região, que sejam implementadas as seguintes ações:

“- ...seleção de áreas para disposição de lixo em toda região litorânea, possibilitando às prefeituras planejarem a preparação dos aterros sanitários, individualmente ou em consórcio entre os vários municípios...;

- execução de carta de suscetibilidade à erosão, principalmente nas áreas da encosta da Serra Geral, a qual servirá como documento orientativo às ações antrópicas, preservando os terrenos mais suscetíveis aos processos erosivos;

- execução de carta de potencial mineral preliminar, que servirá como orientação aos mineradores e, ao mesmo tempo, auxiliará a FEPAM no licenciamento às atividades mineiras;

- determinação do balanço hídrico do sistema interligado de lagoas e rios do litoral norte...;

- execução de cartas temáticas multidisciplinares em escala maior do que 1:50.000, permitindo aos planejadores municipais o gerenciamento adequado do meio físico e que subsidiem a elaboração de planos diretores municipais.”

Sobre reservas ecológicas, a Resolução do CONAMA nº 004 de 18.11.85 pode ser em parte aplicada ao município de Três Cachoeiras, reportando-se às características atuais da área estudada, como segue:

Art 3º - São Reservas Ecológicas:

b) - as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

I - ao longo dos rios numa faixa marginal além do leito maior sazonal medida horizontalmente, cuja largura mínima será:

- 5 metros para rios com largura menor que 10 metros;

- metade da largura dos corpos d'água que meçam entre 10 e 200 metros;

- 100 metros para cursos d'água cuja largura seja superior a 200 metros.

II - ao redor de lagos, lagoas ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, desde seu nível mais alto medido horizontalmente em faixa marginal, cuja largura mínima será:

- 30 metros para os que estejam situados em áreas urbanas;

- 100 metros para os que estejam situados em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal seja de 50 metros.

III - nas nascentes permanentes ou temporárias, incluindo os olhos d'água e veredas, seja qual for sua situação topográfica, com faixa mínima de 50 metros e a a partir de sua margem, de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia de drenagem contribuinte.

IV - no topo dos morros, montes e montanhas, em áreas limitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura, em relação à base;

V - nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a 1000 metros.

VI - nas encostas ou parte destas, com declividade superior a 45° ou 100% na sua linha de maior declive.

X - nas bordas de tabuleiros e chapadas, em faixa com largura mínima de 100 metros.

Art 4º - Nas montanhas ou serras, quando ocorrem dois ou mais morros cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a 500 metros, a área total protegida pela Reserva Ecológica abrangerá o conjunto dos morros em tal situação e será delimitada a partir da curva de nível correspondente a $2/3$ à altura, em relação à base do morro mais baixo do conjunto.

As imagens de Sensoriamento Remoto são produtos digitais, sendo compostas por uma grade de elementos denominados pixels ("picture element"), sendo estes localizados por meio de um sistema de coordenadas "x" e "y", correspondendo a linhas e colunas. A origem deste sistema situa-se no canto noroeste da grade, bem como da imagem (CRÓSTA, 1993).

Cada cela da grade (x,y) ou pixel contém um atributo numérico-digital (z), o qual indica a intensidade de energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície imageada e medida pelos sensores do satélite correspondendo ao tamanho do pixel, sendo também referido como número digital - ND.

O ND de um pixel corresponde à medida da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes no terreno, referentes a uma porção da imagem.

A imagem digital, portanto, é encarada como uma matriz de x linhas e y colunas, tendo cada elemento um atributo z número digital. As imagens de sensoriamento remoto constituem matrizes com milhares de linhas e colunas como no caso do LANDSAT TM 5, por exemplo, que possui 6550 X 6550 elementos, num total de 42.000.000 pixels para cada banda espectral.

A resolução de uma imagem de sensoriamento remoto pode ser de natureza espacial, espectral, radiométrica e temporal. Resolução espacial é a capacidade do sistema sensor em definir objetos na superfície, sendo esta determinada pelo IFOV (instantaneous field of view) ou campo instantâneo de visada (DRURY, 1993).

Resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda de cada banda. Um sistema sensor terá uma maior resolução espectral quanto mais bandas contiver e quanto menor a

largura de seus intervalos, distribuídos dentro do espectro eletromagnético entre as regiões do visível e do infravermelho.

Resolução radiométrica é fornecida pela quantidade de NDs obtidos por um determinado sensor. No caso do LANDSAT TM 5, a resolução é definida por 8 bits correspondendo a 256 níveis de cinza.

A distribuição dos NDs atribuídos aos pixels de uma determinada imagem, ou parte desta, bem como sua frequência, pode ser expressada na forma de histogramas, os quais são largamente utilizados em processamento de imagens. Através da forma do histograma de uma imagem, podem ser observados aspectos como intensidade média e espalhamento dos valores de NDs, a qual fornece o contraste daquela imagem, que traduz algumas características de natureza radiométrica da superfície imageada.

A cor é uma das propriedades dos objetos que domina o aparelho óptico humano, visto a alta capacidade em discernir cores quando comparada com a capacidade em diferenciar níveis de cinza. No entanto, experiências mostram que o olho humano é mais sensível ainda a variações de intensidade do que variações de cores.

Por isso que, em sensoriamento remoto, as composições de bandas de uma imagem são apresentadas através de canais que representam as três cores primárias aditivas, quais sejam, vermelho, verde e azul, codificadas como RGB ("red-blue-green").

A aplicações das bandas do LANDSAT-5, bem como suas respectivas faixas espectrais podem ser vistas na Tabela 1, conforme NOVO (1988).

Tabela 1 - Principais aplicações das bandas espectrais do LANDSAT TM 5

BANDA ESPECTRAL	FAIXA ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÕES
1	0,45 - 0,52	corpos d'água, oxidações em rochas
2	0,52 - 0,60	vegetação sadia
3	0,63 - 0,69	absorção da clorofila, espécies vegetais, detecção de ferro fêrrico
4	0,76 - 0,90	relevo, estruturas geológicas
5	1,55 - 1,75	uso do solo, rochas alteradas, rochas sãs
6	10,4 - 12,5	estresse térmico de plantas
7	2,08 - 2,35	alteração hidrotermal, argila, crostas bauxíticas e rochas carbonáticas

O processamento digital de imagens constitui um conjunto de técnicas que fornecem ferramentas para identificar e extrair informações contidas nas imagens de satélite, visando sua posterior interpretação. Utilizam-se para isto, sistemas computacionais que manipulam as imagens brutas, sendo os produtos resultantes também considerados imagens com

informações específicas para o tema escolhido para determinada pesquisa. O objetivo principal do processamento digital, tendo em vista a grande quantidade de dados das imagens, é o de remover as barreiras inerentes ao aparelho óptico humano, facilitando a extração das informações a partir das imagens (CRÓSTA, op. cit.).

Aplicam-se filtragens especiais em imagens de satélite para detectar bordas, feições lineares e padrões texturais, pressupondo-se que o aparelho óptico humano é muito sensível e preciso na percepção de texturas e bordas. CECARELLI et al. (1986) utilizaram uma série de filtros direcionais sobre as bandas 3, 4 e 5 do TM LANDSAT 5, estabelecendo correlação com produtos obtidos por análise visual. ARAÚJO & CARVALHO Jr. (1994) implementaram filtros de tamanho 5X5, para as direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE, com a finalidade de detectar lineamentos estruturais das rochas e contatos geológicos:

A análise por principais componentes utiliza o conceito de espaço de atributos, sendo uma operação de transformação linear, baseada nas propriedades estatísticas de um conjunto de bandas multiespectrais (CRÓSTA, op.cit). Este método de análise de imagens se aplica àquelas imagens com muitas bandas espectrais, sendo bastante utilizado em geologia, na combinação de imagens multiespectrais com imagens de RADAR e imagens geofísicas, por exemplo.

A classificação de Imagens constitui-se num processo automático de rotulagem, no qual associa-se cada pixel da imagem a uma classe que, teoricamente, atribui-se a objetos previamente escolhidos de uma determinada área temática (CRÓSTA, op.cit.). Por exemplo, classes de cobertura/uso do solo dentro de mapeamento de cobertura/uso do solo, tipos de vegetação de um mapa de cobertura vegetal, tipos de rocha num mapa litológico, etc. Na classificação digital de imagens, no entanto, são consideradas apenas as características espectrais sem levar em conta os aspectos texturais de uma cena. Na classificação multiespectral de imagens, atribui-se cada pixel a um determinado grupo de classes, num processo vulgarmente chamado "separação" de informações, baseando-se no princípio da vizinhança, na escolha prévia de classes e na idéia de que cada pixel pertença a uma das classes eleitas. Outro importante aspecto da classificação é que as classes podem ser definidas pelo pesquisador não apenas pelos valores de reflectância, mas pelas suas características de contexto.

O sistema de geoprocessamento ou Sistema de Informações Geográficas - SIG, caracteriza-se por armazenar, recuperar e analisar dados num ambiente computacional.

sendo também um banco de dados (CÂMARA, 1993). O SIG tem a função de integrar informações espaciais provenientes de dados georreferenciados de naturezas diversas numa única base de dados. A partir disto, pode combinar aquelas informações por meio de algoritmos de manipulação, e gerar mapeamentos derivados, reproduzindo, visualizando e plotando seus dados geocodificados. O SIG trata os dados nos formatos *raster*, vetorial, amostras tridimensionais e grade regular.

No SIG, pressupõe-se que os dados de um determinado estudo sejam reunidos num único projeto correspondente a uma determinada área de abrangência, a qual é georreferenciada. Este projeto é dividido em planos de informação, de acordo com a natureza da informação da qual são representantes. Por exemplo, um projeto pode formar-se de P.I.s como cobertura/uso do solo, declividades, geologia, entre outros.

Os P.I.s podem ser distinguidos entre as seguintes categorias:

- temática, contendo informações planimétricas, de natureza bidimensional, sendo reunidos em temas ou classes, como drenagem, geologia, cobertura/uso do solo;
- modelo numérico do terreno, possuindo informações tridimensionais, como curvas de nível, dados geoquímicos, etc;
- imagem, tendo informações temáticas, como imagens de satélite e fotografias aéreas.

Um sistema de geoprocessamento é formado pelos seguintes sub-sistemas:

- entrada, que fornece a inserção e edição de dados e de seus atributos no sistema;
- conversão, que permite a transformação de formatos, bem como transformações geométricas;
- análise geográfica, que gera a partir de operações no banco de dados geocodificados, informações derivadas;
- saída, que produz documentos cartográficos, projeções bidimensionais de dados 3D, imprimindo dados da sua base em monitor gráfico ou em arquivos;
- gerenciador, que armazena, mantém e recupera informações da base de dados do SIG.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Materiais Utilizados

Serão discriminados o material permanente, o material de consumo e os equipamentos utilizados no presente trabalho.

Os material permanente utilizado compõe um conjunto formado por fotografias aéreas, cartas planialtimétricas, imagens de satélite, cartas temáticas, que são discriminados a seguir, assim como suas fontes e procedências.

As fotografias aéreas consultadas pertencem ao Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER da Secretaria de Estado dos Transportes, sendo relativas à obra 074 (Litoral Sul), com escala 1:20.000, datadas de 1975, sequenciadas nas faixas de vôo 14: 829 - 833, 15: 855 - 859, 16: 982 - 986, 17: 932 - 935, 18: 975 - 981 e 19: 1013 - 1015.

As cartas planialtimétricas empregadas neste estudo pertencem ao CEP SRM - UFRGS, tendo sido editadas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, 1ª Divisão de Levantamento sendo as folhas codificadas para escala 1:50000 como Aratinga (SH.22-X-C-II-4), Arroio Teixeira (SH-22), Maquiné (SH-22), Três Cachoeiras (SH.22-X-C-III-3) (1980); para escala 1:250000 como folha Gravataí (SH.22-X-A) (1979).

Foi utilizado mapa geológico do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS, denominados Carta Três Cachoeiras e Torres, SH.22-X-C-III-3 e SH.22-X-C-III-4 e Carta Maquiné e Arroio Teixeira, ambos na escala 1:100.000 (HORN F^o et al., 1984).

Foi utilizada uma imagem LANDSAT TM 5, pertencente à HAR Engenharia e Meio Ambiente a imagem digital WRS 220.80, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, datada de 18.07.94 .

Os equipamentos utilizados no presente estudo são listados a seguir, conforme a fase para o qual foram requisitados. Assim, na fotointerpretação foi usado estereoscópio de espelho marca Zeiss, de propriedade do CEP SRM/UFRGS.

Nos trabalhos de campo utilizaram-se equipamentos de propriedade particular como estereoscópio de bolso DFV, bússola, binóculo, máquina fotográfica, filmes fotográficos, martelo, marreta.

Diferentes equipamentos pertencentes ao CEP SRM - UFRGS foram utilizados para:

- a) geoprocessamento, "software" SGLINPE 340, mesa digitalizadora Digigraf - Van Gogh, "software" IDRISI, impressora HP Deskjet 1200C;
- b) processamento e classificação de imagens, "software" SITIM/INPE 150,;
- c) escanerização de fotografias pelo "software"GRAPHX e "scanner" MUSTEK MFS-6000 C'S.

3.2. Método

O mapeamento geológico/geotécnico do município de Três Cachoeiras foi produzido na escala 1:50.000, segundo proposta metodológica de ZUQUETTE & GANDOLFI (1992), a qual foi adaptada às necessidades municipais, sendo fundamentada na análise de atributos do meio físico que foram utilizados na elaboração de cartas de recomendação.

Os atributos estudados agruparam-se em cinco divisões fundamentais como:

- declividade;
- litológica;
- formações superficiais;
- unidades hidrogeológicas;
- uso atual do solo.

A partir do cruzamento no Sistema de Informações Geográficas, foram elaborados os seguintes produtos finais do mapeamento geológico/geotécnico:

- carta de recomendação à extração de materiais para construção civil;
- carta de recomendação à implantação de obras de infraestrutura;
- carta de recomendação à disposição de resíduos sólidos e loteamentos;
- carta de recomendação à agricultura;
- carta de recomendação à implantação de área de preservação ambiental.

O fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho pode ser visto na Figura 2 abaixo, seguido da descrição detalhada das atividades.

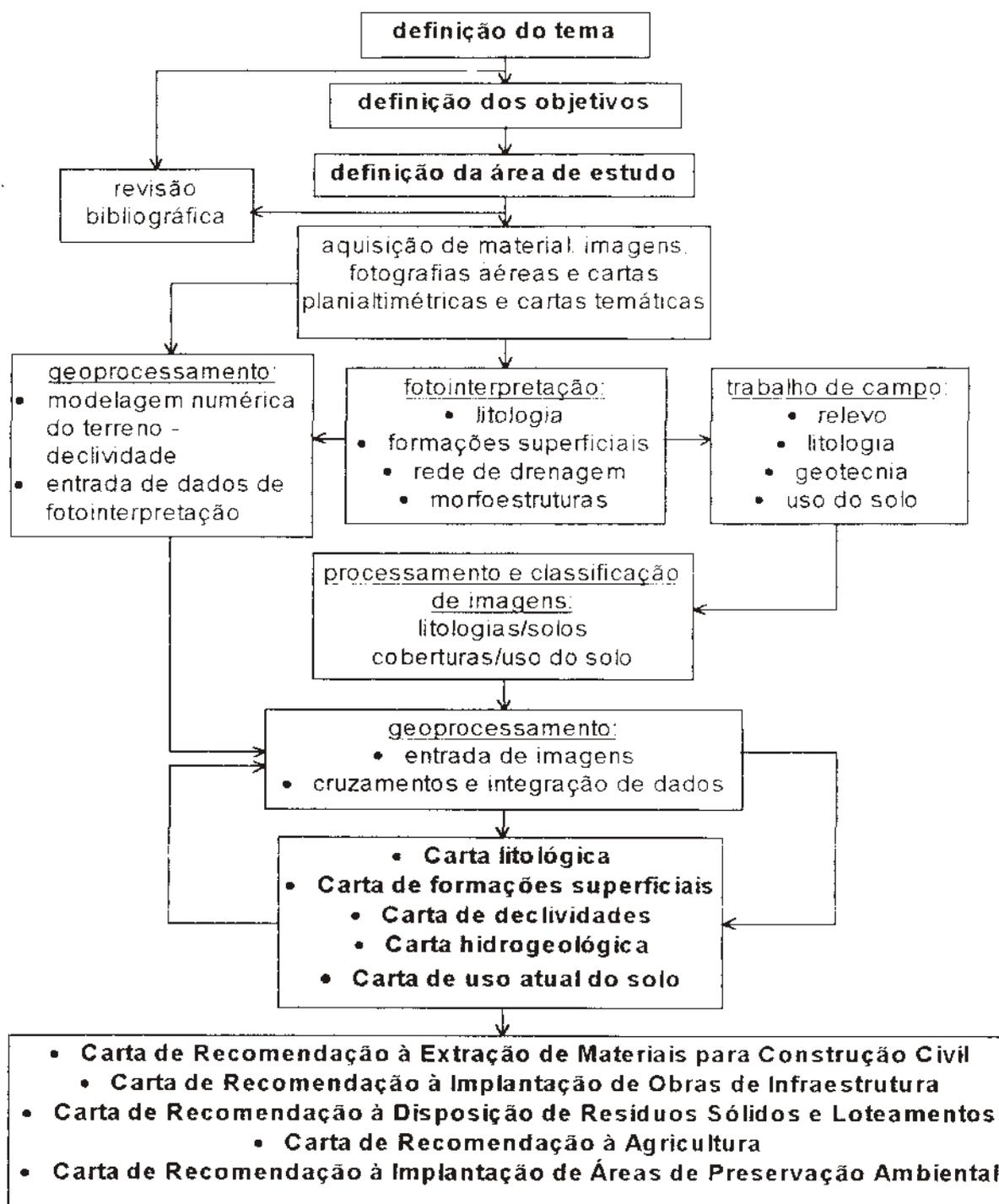


Figura 2 - Fluxograma das atividades

3.2.1. Fotointerpretação

Os estudos sobre fotografias aéreas delimitaram visualmente os aspectos geológicos e geomorfológicos do município de Três Cachociras, distribuídos em áreas temáticas que esboçaram a rede de drenagem, a litologia, as formações superficiais e as morfoestruturas.

Utilizaram-se fotografias aéreas verticais na escala aproximada de 1:20000, preto e branco. A interpretação foi feita sobre as fotografias alternadamente, ora somente em fotos pares, ora em fotos ímpares, sobrepondo-se uma lâmina de acetato sobre as mesmas. As informações extraídas foram agrupadas nas áreas temáticas litologia, formações superficiais, morfoestruturas e padrões de drenagem.

De uma forma geral, os produtos da fotointerpretação apresentaram distorções relativas à projeção cônica da fotografia aérea, mesmo com a introdução de pontos de controle no terreno, quando da digitalização dos “overlays” para cada fotografia aérea, relativos aos vários temas acima citados, no momento de inseri-los para dentro do sistema de geoprocessamento. O problema foi notado nitidamente na região do município com terrenos movimentados, pois as variações de altitude provocam deslocamentos nas imagens, fato que verificou-se quando necessitou-se unir as mesmas feições de um “overlay” para outro. Na zona plana, este problema não teve significância.

As informações das fotografias aéreas foram transferidas diretamente para o SGI, via mesa digitalizadora, apoiando-se em pontos de controle identificados tanto na fotografia como na carta planialtimétrica, sendo suas coordenadas planas obtidas da última, mostrando-se um método bom para as zonas planas e regular no que se refere às zonas com relevo acidentado.

a) Rede de drenagem

Para a interpretação da drenagem, utilizaram-se os critérios e métodos descritos por RICCI & PETRI (op. cit.), que formaram importantes critérios de interpretação das morfoestruturas e das rochas existentes na área estudada. Foi observado o seguinte:

- os padrões ou modelos de drenagem;
- a densidade de drenagem, dada pela razão entre o número de rios e a área observada;
- a orientação da drenagem, que é definida pelo conjunto de direções dos cursos d'água;

- o seu grau de controle, ou seja, a relativa dominância de orientação dos mesmos;
- a angularidade, revelada pelas variações bruscas de direções dos cursos d'água.

No que se refere à ordem de drenagem, foi utilizado o método de classificação de STRAHLER (1952) (in CHRISTOFOLETTI, 1974), pelo qual os rios de primeira ordem não possuem tributários e dois rios de primeira ordem formam um rio de segunda ordem e assim sucessivamente. A ordem de drenagem foi utilizada para identificar-se os cursos d'água de primeira ordem, a partir dos quais ocorrem as nascentes, sendo estas consideradas pela Resolução 004 do CONAMA de 18.11.85 como reservas ecológicas.

Foram estabelecidas as seguintes classes quanto à ordem de drenagem:

- rios de primeira ordem;
- rios de segunda ordem;
- rios de terceira ordem;
- rios de quarta ordem.

b) Litologia

Para interpretação do meio físico (rede de drenagem, relevo, estruturas de uma forma geral, utilizaram-se as diretrizes de SOARES & FIORI (1976) e, para investigar especificamente a litologia nas fotografias aéreas, empregou-se a metodologia de RICCI & PETRI (1965), utilizando-se critérios ou fatores guia na interpretação geológica como a tonalidade e textura, formas topográficas e drenagem para a obtenção do tipo de rocha, individualizando-se as litologias, sendo classificadas as seguintes unidades:

- seqüência mesozóica;
- depósitos de colúvio;
- depósitos de terraço aluvial;
- depósitos de terraço lagunar;
- depósitos de planície lagunar;
- depósitos flúvio-deltaicos.

c) Formações superficiais

Considerou-se como formação superficial todo o depósito continental ou marinho móvel ou secundariamente consolidado, que tenha ou não sofrido transporte e que seja originado da desagregação física e/ou química de rochas (OKA-FIORI, 1980). Para

identificar as formações superficiais, utilizaram-se os critérios de mapeamento empregados por OKA-FIORI (op. cit.), buscando-se detectar as quebras de relevo, zonas homólogas, tonalidade, textura e estrutura, densidade de vegetação e voçorocas ou indícios diversos de erosão.

Baseando-se nisto, estabeleceram-se as seguintes formações superficiais e substrato rochoso associado:

- rocha aflorante;
- elúvio;
- elúvio + tálus + rocha;
- colúvio;
- alúvio;
- depósito lagunar;
- depósito flúvio-deltaico.

d) Morfoestruturas

Consideraram-se como morfoestruturas as fraturas observadas na superfície do terreno, as quais foram observadas indiretamente pela análise da drenagem, como foi mencionado anteriormente. O objetivo de determinar os grandes lineamentos da área foi de utilizar esta informação mais adiante, para caracterização do tipo de aquífero, ou seja, zonas de potencialidade de ocorrência de águas subterrâneas.

3.2.2. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados entre 11 e 21 de abril de 1995, tendo sido feitas expedições de confirmação de dados em 29 de junho e 21 de novembro de 1995.

Baseando-se nos estudos sobre fotografias aéreas, estabeleceram-se pontos essenciais a serem descritos em campo, conforme o Anexo 1. Para otimização e o direcionamento da obtenção dos dados de campo, elaborou-se uma ficha de levantamento de campo, tendo-se em vista o relevo, litologia, aspectos geotécnicos e o uso do solo (Anexo 2).

a) Para os aspectos do relevo, foram considerados os seguintes tópicos:

- forma, ou situação do ponto descrito na paisagem, como por exemplo, planície, divisor de água, etc;

- posição na vertente, como sopé da encosta, meia encosta, alta encosta;
- declividade, arbitrada visualmente com bússola, em segmentos mais ou menos de 100 metros no entorno do local descrito;
- amplitude, no que diz respeito às rampas estimadas visualmente com bússola e auxílio da carta planialtimétrica;
- padrão de drenagem, geralmente quando eram descritas paisagens;
- unidade geomorfológica;

b) Quanto à litologia, procurou-se identificar:

- a cor da rocha;
- a textura;
- as estruturas;
- a classificação macroscópica;
- a unidade litoestratigráfica a qual pertence.

Como apoio à identificação das unidades litoestratigráfica, utilizou-se como cartografia básica os mapas geológicos do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS, denominados Carta Três Cachoeiras e Torres, SH.22-X-C-III-3 e SH.22-X-C-III-4 e Carta Maquiné e Arroio Teixeira, ambos na escala 1:100.000 (IORN Fº et al., 1984). Foram identificadas as seguintes unidades litoestratigráficas:

- arenitos da Formação Botucatu;
- rochas básicas da Formação Serra Geral;
- rochas ácidas a intermediárias da Formação Serra Geral;
- depósitos coluvionares (relativos aos depósitos de encosta, incluindo tálus e leques aluviais antigos e atuais);
- depósitos eólicos (relativos aos depósitos eólicos de dunas litorâneas antigas);
- depósitos de terraço lagunar (incluídos juntamente com depósitos marinhos praias antigos);
- depósitos aluviais (parte dos depósitos lagunares, que incluem depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial);
- depósitos de planície lagunar (relativos aos depósitos lagunares, incluindo depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial);

- depósitos deltaicos (incluídos nos depósitos lagunares, contendo depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial).

c) Quanto aos aspectos geotécnicos, procurou-se observar:

- o grau de alteração, baixo, médio e alto;
- o tipo de solo, bem como sua profundidade, se houve exposição do perfil;
- o tipo de erosão ocorrente, se em ravinas, sulcos ou lençol, etc;
- os movimentos de massa predominantes no local e no entorno, como deslizamentos, queda ou rolamento de blocos, etc;
- o nível freático, através de pontos de fontes nos cortes e a profundidade dos poços caseiros existentes;
- a permeabilidade estimada visualmente, em baixa, média e alta, em função do tipo de rocha e/ou de sedimento.

d) No que diz respeito ao uso do solo, observou-se o seguinte:

- cobertura vegetal predominante;
- tipo de cultura;
- existência de área urbana;
- proximidade com rodovia;
- tipo de mineração ou extração mineral.

Para cada ponto foi feito, na medida do possível, um croqui, com as relações de relevo e interpretações litológicas, sendo também registrados por fotografias.

3.2.3. Tratamento de imagens

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no tratamento de imagens deste estudo envolveram pré-processamentos com a correção geométrica das imagens, processamento digital e classificação de imagens e pós-processamentos.

Este método que tem a capacidade de refinar a correção geométrica já feita pelo INPE, antes de ser distribuída aos usuários. No entanto, é um método mais acurado porque baseia-se em pontos de controle no terreno. Assim, partindo-se da imagem TM LANDSAT 5, codificada como WRS 220.80 C, adquirida em 18.07.94, recortou-se a área a ser trabalhada, dentro de um retângulo em conformidade com as coordenadas planas definidas

anteriormente no SGI, procedendo-se à correção geométrica daquele segmento da imagem com a carta planialtimétrica, utilizando-se o método de pontos de controle no terreno. Para isto, selecionou-se a banda 3, que forneceu melhor resolução da imagem quanto ao uso do solo. Identificaram-se pontos facilmente reconhecíveis tanto na imagem quanto na carta planialtimétrica. Este pré-processamento foi aplicado nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, obtendo-se seis novas imagens corrigidas.

Em seguida, comparam-se os erros obtidos nos ajustes entre os pontos de controle e os pontos equivalentes na imagem, aplicando-se a transformação baseada em pontos de controle no terreno sobre a imagem e produzindo-se uma nova imagem corrigida pela projeção cartográfica do mapa planialtimétrico, através da reamostragem por interpolação dos valores de NIDs pelo método estatístico do vizinho mais próximo.

O programa utilizado para calcular os parâmetros estatísticos de todas as bandas, sejam as originais ou aquelas produzidas pelos processamentos utilizados foi o IDRISI.

a) Seleção de bandas

Optou-se por selecionar triplete de bandas para que estes servissem apenas como recurso visual para classificação das imagens, pois os processamentos utilizaram informações de todas as bandas corrigidas.

Dentro da rotina do SITIM/INPE para classificação de imagens, procurou-se um procedimento denominado seleção de atributos, no qual, a partir de amostras adquiridas para classificação da imagem, selecionam-se as melhores bandas para tal. Conforme visto no item “Classificação de Imagens”, utilizaram-se todas as bandas da imagem para o processamento da classificação, mesmo assim, o recurso do sistema foi utilizado para selecionar bandas com o objetivo de visualizar melhor a área para melhorar a qualidade da amostragem.

A seleção de atributos no SITIM/INPE baseia-se no conceito de uma medida de “distância estatística” entre as densidades de probabilidade características das classes padrões, utilizando como por exemplo, a distância de Battacharya e sua relacionada Distância Jeffreys-Matusita (J-M) (RICHARDS, 1986).

Outra técnica de seleção de bandas empregado neste estudo foi aquele proposto por CHAVES JR. et al. (1982), sendo um método quantitativo que utiliza os desvios-padrão e os coeficientes de correlação das imagens, permitindo a obtenção de um fator de índice ótimo -

FIO para todas as combinações possíveis entre as bandas da imagem. Este fator é obtido através da seguinte expressão:

$$FIO = \frac{\sum \sigma}{\sum cc}, \text{ sendo que:}$$

$$\sum \sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$\sum cc = x/y + x/z + y/x, \text{ , onde:}$$

$\sum \sigma$ = somatório dos desvios-padrão das bandas x, y e z;

$\sum cc$ = somatório dos coeficientes de correlação entre as bandas x, y e z;

σ_x = desvio-padrão da banda x;

σ_y = desvio-padrão da banda y;

σ_z = desvio-padrão da banda z;

x/y = coeficiente de correlação entre as bandas x e y;

x/z = coeficiente de correlação entre as bandas x e z;

y/z = coeficiente de correlação entre as bandas y e z.

O valor de FIO mais alto obtido será indicativo do melhor triplete de bandas, por ser aquele conjunto que possui a menor correlação entre as informações entre as bandas selecionadas.

As principais técnicas geralmente utilizadas no processamento digital de imagens são: aumento de contraste, operações aritméticas com imagens, filtragem de frequência, análise por principais componentes. As mesmas foram aplicadas neste trabalho de pesquisa com a finalidade de melhorar visualmente as composições coloridas a serem utilizadas para obtenção e reconhecimento de alvos que serviram de áreas para aquisição de amostras para a classificação das imagens, processada no SITIM.

b) Aumento de contraste

A imagem de SR utilizada neste trabalho tem uma resolução radiométrica de 256 NDs, variando entre o preto e o branco. Porém, dificilmente os dados de uma imagem de satélite distribuem-se ao longo de todo o intervalo 0-255, estando concentrados numa pequena faixa, tendo em vista as características dos alvos naturais, as condições de iluminação da cena e contribuição atmosférica, entre outros aspectos.

Para melhorar estes aspectos, foi aplicado aumento linear de contraste em todas as bandas espectrais da imagem para obtenção dos histogramas expandidos das mesmas, com a

finalidade de eliminar problemas gerados pelas condições de iluminação da cena, que na área em estudo é dada pelo sombreamento e também pela contribuição atmosférica.

c) Operações aritméticas com imagens

As operações aritméticas são convenientes, pois, proporcionam a um conjunto de bandas a compressão dos dados originais, resultando num menor número de bandas, usualmente três, correspondentes aos canais RGB dos sistemas de tratamento de imagem.

Optou-se pela utilização de operações aritméticas com imagens como a adição, entre as bandas 1+2, 3+4 e 5+7, com a finalidade de agrupar as informações em apenas três bandas, facilitando os processamentos nos canais RGB, já que a adição proporciona o agrupamento dos NIDs das bandas originais.

d) Filtragens

Aplicam-se filtragens especiais em imagens de satélite para detectar bordas, feições lineares e padrões texturais, pressupondo-se que o aparelho óptico humano é muito sensível e preciso na percepção de texturas e bordas.

De forma diversa das análises feitas sobre pixels isolados, como aumento de contraste, operações aritméticas, etc. as filtragens têm por finalidade expressar diferenças entre pixels, tratando-se, portanto, de operações de vizinhança, sendo de natureza areal e não pontual, como nos processamentos anteriores.

Os filtros direcionais são aqueles que deixam passar as altas frequências apenas em determinadas direções requeridas e os tipos mais comuns são os filtros de Roberts, filtros de Sobel e filtros de Prewitt, os quais são bastante utilizados em estudos geológicos e geomorfológicos.

Com a finalidade de evidenciar o relevo e as morfoestruturas, empregou-se a filtragem direcional, através de filtros desenvolvidos por ARAÚJO & CARVALHO JR. (1994) sobre a banda 4, a qual permite melhor visualização daquelas feições. As matrizes destes filtros, de tamanho 5X5, foram implementadas para as direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE, tendo os seguintes pesos:

Filtro N-S					Filtro E-W				
2	1	0	2	1	2	2	2	2	2
2	1	0	2	1	1	1	1	1	1
-2	-1	0	2	1	0	0	0	0	0
2	1	0	2	1	2	2	-2	-2	-2
-2	-1	0	2	1	1	1	1	1	-1

Filtro NE-SW					Filtro NW-SE				
4	3	2	1	0	0	1	2	3	4
3	2	1	0	-1	-1	0	1	2	3
2	1	0	-1	2	-2	-1	0	1	2
1	0	1	2	3	3	2	1	0	1
0	1	-2	-3	-4	-4	-3	-2	-1	0

e) Análise por componentes principais

As bandas numa imagem multiespectral possuem alta correlação, fazendo com que seus espaços de atributos sejam estreitos. A análise por componentes principais tem a finalidade de verificar esta correlação e removê-la por meio de transformações matemáticas adequadas.

Aplicou-se o método de análise por componentes principais nas seis bandas do TM LANDSAT 5 (1, 2, 3, 4, 5 e 7), para que, a partir do resultado da ACP, fazer-se a classificação das imagens nas áreas temáticas rochas/solos e cobertura/uso do solo, dentro da proposta de mapeamento com enfoque geológico/geotécnico do município de Três Cachoeiras.

Tendo em vista que o espaço de atributos de imagens de componentes principais não é muito grande, que em ACP de imagens multiespectrais a informação decresce com as últimas CPs, observa-se que há diminuição de contraste, à medida que se aproximam as CPs de maior ordem. Por isso, fez-se necessário aumentar o contraste das CPs, visando a obtenção de iguais variâncias e a sua ampliação no espaço de atributos. Este aumento de contraste teve o mesmo objetivo das operações antes descritas, que é a melhor discriminação de alvos na imagem.

f) Classificação de Imagens

A classificação de imagens se apóia no conceito de espaço de atributos das diversas bandas que compõem uma imagem, porque um mesmo pixel possui diferentes NIDs em função da banda espectral, podendo desta maneira, fornecer maiores dados ao sistema computacional para sua identificação, quanto maior for o número de bandas escolhidas para classificação.

As operações para classificação de imagens incluem o fatiamento, classificação supervisionada e classificação não-supervisionada. Optou-se quando da classificação, pelo método da máxima verossimilhança, pois, é o método mais eficaz visto que utiliza parâmetros estatísticos bastante sofisticados. Foram escolhidas mais de uma centena de amostras para cada área temática, 1)rochas/solos e 2)cobertura/uso do solo, em função de dados obtidos pela fotointerpretação, pela interpretação visual de imagens e pelos levantamentos de campo.

Na classificação para rochas/solos identificaram-se elúvios, colúvios, alúvios, sedimentos lagunares e também rochas, estabelecendo-se as classes em função de pontos conhecidos no terreno e reconhecidos na imagem. Ressalta-se que, devido à cobertura vegetal, os alvos investigados neste tema (solos e rochas), foram identificados também por meio de aspectos de contexto, pois seus atributos espectrais puderam ser observados apenas em locais contendo solos expostos, pedreiras, etc.

Ressalta-se que o termo “solo” empregado neste estudo tem enfoque apenas geotécnico, não pedológico, com a finalidade de diferenciar os materiais sedimentares, os colúvios e as rochas alteradas das rochas inalteradas ocorrentes no município. Com isso, respeitando-se as limitações do sistema de processamento de imagem, puderam-se separar as seguintes classes:

- depósitos flúvio-lagunares;
- depósitos alúvio-deltaicos;
- depósitos de colúvio;
- depósitos elúvio;
- rochas aflorantes + depósitos de elúvio;
- água fluvial;
- água lagunar;
- sombra.

Também foram identificados alvos relativos à água fluvial, água lagunar, áreas alteradas e sombra, por terem comportamento espectral peculiar ao longo de toda a área da imagem, as quais também foram identificadas na classificação para cobertura/uso do solo. A classe sombra foi estabelecida por amostras bastante características de zonas escarpadas do município, reconhecendo-se a limitação do sistema no sentido de distinguir alvos dentro da área encoberta.

Na classificação para a cobertura/uso do solo tentou-se identificar alvos que estabelecessem classes em função dos aspectos importantes para o comportamento geotécnico da superfície do terreno, e para que fossem cruzadas mais adiante no SIG, sendo assim adquiridas amostras de pontos também conhecidos no terreno pelos trabalhos de campo e reconhecidos na imagem, que são:

- mata nativa;
- campo/cultura de banana;
- culturas temporárias
- reflorestamento cultura de banana;
- áreas alagadas;
- áreas alteradas;
- água fluvial;
- água lagunar;
- sombra.

g) Pós-processamento

A imagem classificada por vezes mostrou ruídos, que nada mais são do que pixels isolados ou agrupamentos menores contendo pixels de classes diversas, situados nas proximidades de zonas mapeadas homoganeamente (SCHOWENGERT, 1983). Isto se deve a fatores como topografia acidentada e pixel-mistura. Empregou-se uma rotina do SITIM/INPE denominada uniformização de temas para eliminar este problema.

3.2.4. Geoprocessamento

O SIG utilizado neste estudo é o sistema desenvolvido pelo INPE, SGI, o qual funciona de forma integrada com o SITIM - Sistema de Tratamento de Imagens, ambos manipulando informações na categoria MNT, imagem e temática. Qualquer imagem

manipulada pelo SHIM pode ser diretamente transferida para o SGI, podendo seus dados serem cruzados e superpostos a outros ou gerar mapas temáticos a partir de imagens de satélite classificadas. Inicialmente, foi criado um projeto dentro do sistema, abrangendo o retângulo envolvente formado pelas coordenadas extremas do município de Três Cachoeiras. Assim resumidamente, o projeto criado no sistema de geoprocessamento teve as seguintes características:

- escala 1:50.000;
- projeção UTM/Córrego;
- sistema de coordenadas planas;
- unidade métrica;
- coordenadas do retângulo envolvente $X_1 = 585299$; $X_2 = 613255,5$; $Y_1 = 6727190,5$; $Y_2 = 6752356$.

Optou-se pela resolução espacial de 30 X 30 metros, coincidindo com a resolução máxima dos pixels das imagens de satélite. Escolheu-se a escala 1:50000, como opção de saída para todos os PIs, por estar disponível nas cartas planialtimétricas e também por permitir uma melhor visualização frente à resolução da imagem de satélite trabalhada. Optou-se pela projeção cartográfica UTM e o datum Córrego Alegre. A partir daí, foram criados planos de informação (PIs), relativos aos temas referentes ao presente estudo.

Deve ser frisado neste momento que optou-se pela escala 1:50.000 visando a confecção futura dos produtos finais gerados a partir deste estudo, sendo compatíveis com as cartas planialtimétricas do Ministério do Exército. A confecção dos mesmos não está nos propósitos nem dentro dos custos do trabalho de mestrado, tão somente a formação de um banco de dados geológico-geotécnicos como subsídio para elaboração de mapas municipais.

a) Produtos Preliminares

Numa primeira fase, criou-se o PI relativo às curvas de nível na categoria MNT, no qual deu-se entrada aos dados das cartas planialtimétricas (DSG. 1ª DL), escala 1:50000, sendo digitalizadas curvas de nível de 20 em 20 metros, com a finalidade de produzir o modelo numérico do terreno e a carta de declividade, dentro da área municipal e de 100 em 100 metros fora desta área e de todos pontos com referências de nível, produzindo-se uma carta com as curvas de nível. Em seguida, gerou-se uma grade regular para possibilitar a

criação de uma imagem sintética em formato varredura, exibindo cores claras nas cotas mais elevadas e cores escuras nas cotas mais baixas.

A carta de declividades bruta foi gerada a partir do modelo numérico do terreno, da qual produziu-se uma carta temática com definição de classes conforme, assim como aquelas faixas relevantes para um estudo geotécnico e também quanto aos aspectos observados em campo, como por exemplo, declividades acima de 5°, onde já se observam indícios de erosão em colúvios e sobre declives com mais de 30° onde são notados movimentos de massa. Foram estabelecidas as seguintes classes:

- 0-2%;
- 2-5%;
- 5-12%;
- 12-30%;
- 30-45% ;
- maior que 45%.

As declividades baixas foram definidas em função das águas superficiais e subterrâneas, ou seja, o intervalo de declividades de 0-2%, restringe-se na região estudada, àquelas áreas sujeitas a enchentes, onde o lençol freático quase sempre aflora, enquanto que, o intervalo correspondente às declividades entre 2-5%, o risco de cheias é menor, tendo, porém o lençol freático ainda próximo da superfície do terreno, raramente aflorando. Além disso, as declividades até 5% foram definidas como limite urbano industrial por estudos de planejamento urbanos feitos no Brasil pelo Instituto de pesquisa Tecnológicas em conjunto com a EMPLASA (SP) (HERZ & DE BIASI, 1989, *in*: DE BIASI, 1990).

O intervalo de classe 5-12% restringe o emprego de mecanização na agricultura, sendo que o intervalo compreendido entre 12-30% define a urbanização com restrições, conforme a Lei Federal nº 6766/79.

Em 47%, situa-se o limite máximo para o corte da vegetação, conforme o Código Florestal, regida pela Lei Federal nº-4771/64. Seguindo a Resolução CONAMA nº 004 de 18.11.85, estabelece-se, entre outros itens, áreas contendo vegetação sobre declividades maiores que 45%, sendo consideradas reservas ecológicas. Optou-se, então pelo menor valor de declividade, ou seja, 45%, sendo estabelecidas as classes 30-45% e maior que 45%.

Por conter menor informação altimétrica na zona de planície lagunar, houveram problemas de interpolação das cotas que refletiram no fatiamento da declividade, pois a

classe 0-2% alterna-se com “fios” da classe 2-5%, sobre a grande área plana do município. No restante da área, na zona serrana, as classes de declividades se sucedem normalmente.

Este tipo de problema foi também encontrado por PEREIRA NETO & VALERIO F^o (1993) ao comparar a carta de declividade gerada pelo SGI/INPE, com outros métodos de determinação de declividades de baixo valor. CASTRO (1992) comparou dados de declividades obtidos no SGI/INPE, com outros dados obtidos por método analógico, sendo que JARDIM (1995), KUNTSCHIK (1996) e SAIZ (1996) igualmente verificaram a criação de declividades irreais nas zonas planas, tendo que utilizar o método do ábaco analógico para detalhar aquelas classes de declividade.

Sabendo-se que, de antemão, as zonas que apresentaram este problema são aquelas que possuem com certeza declividades entre 0-2%, optou-se por aplicar uma máscara, delimitada pela curva de nível 40 metros e pelo limite com a lagoa Itapeva, a qual incluiu-se na classe 0-2%.

A partir da geração deste PI, criou-se uma base fundamental para cruzamentos posteriores, pois a variação de declividades constitui importante parâmetro para análise do meio físico, para avaliar a suscetibilidade a problemas geotécnicos como erosão, escorregamentos, subsidências, etc, frente à intervenção antrópica.

A atualização dos dados da rede viária foi feita comparando-se dados da carta planialtimétrica com plantas da Prefeitura Municipal durante o trabalho de campo.

O PI limite da área estudada foi gerado a partir de dados da carta planialtimétrica, baseado em informações da Prefeitura Municipal de Três Cachoeiras, no que diz respeito aos limites municipais. A partir daí, foi calculada a área estudada, excluindo-se a porção pertencente à lagoa Itapeva.

A criação deste plano de informação possibilitou, além de quantificar a área total estudada, a aplicação de máscaras nos demais planos de informação, para que as informações fossem retringidas dentro da área de âmbito municipal.

Foi criado um PI na categoria temática sobre limite de reservas ecológicas que utilizou elementos do plano de curvas de nível e ordem de drenagens, baseando-se na Resolução CONAMA n.º. 004 de 18.11.85. Neste plano de informação, foram estabelecidas as seguintes classes:

- 2/3 superiores das elevações associados a declives maiores que 45°;
- margem lagunar, fixando-se um limite de 100 metros à beira da lagoa Itapeva;

- margem fluvial, sendo fixadas faixas de dimensões variadas conforme a Legislação Ambiental, à beira dos rios de 2^a, 3^a e 4^a ordem;
- áreas de nascentes, ao longo dos rios de 1^a ordem.

b) Produtos da fotointerpretação

Os produtos da fotointerpretação geraram PIs na categoria temática, referentes à litologia, morfoestruturas, ordem de drenagem e formações superficiais, sendo os dados retirados diretamente das fotografias aéreas, segundo pontos de controle conhecidos e georreferenciados pela carta planialtimétrica. As classes pertencentes a estes PIs permaneceram as mesmas, conforme descritas no item 3.2.1, sendo definidos os seguintes PIs:

- Rede de drenagem obtida por fotointerpretação;
- Litologia obtida por fotointerpretação;
- Formações superficiais obtidas por fotointerpretação;
- Morfoestruturas obtidas por fotointerpretação;

c) Produtos do tratamento de imagens

Os produtos da classificação da imagem de satélite, quais sejam, rochas/solos e coberturas/uso do solo geraram novos PIs, na categoria imagem.

Produziu-se a carta de uso atual do solo, pelo mascaramento da imagem classificada cobertura/uso do solo, com o PI limite da área estudada, herdando-se as seguintes classes do tratamento da imagem:

- mata nativa: como a mata original ou seus remanescentes localizados nos topos das elevações e suas encostas, margens de corpos d'água, nas restingas,
- campo, como áreas de culturas abandonadas ou contendo vegetação rasteira nativa;
- culturas temporárias, consideradas como aquelas áreas onde existe plantio cíclico, mostrado em vários estágios de crescimento;
- reflorestamento/cultura de banana, sendo a vegetação de maior porte e textura uniforme, incluindo o plantio de eucalipto e pinus;
- áreas alagadas, consideradas as áreas parcialmente cobertas com água da planície lagunar;

- áreas alteradas, sendo as áreas dos núcleos urbanos e as áreas de solo descoberto para agricultura, também ocorrentes nas atividades de mineração:

Quanto às rochas/solos, fez-se também o mascaramento da imagem com o PI limite da área estudada, empregando-se as seguintes classes geradas anteriormente na classificação da imagem:

- depósitos flúvio-lagunares, representando os sedimentos de enchurrada mais os sedimentos de origem lagunar;

- depósitos alúvio-deltaicos, sendo os sedimentos formados pelos deltas intra-lagunares dos rios que deságuam na lagoa de Itapeva;

- depósitos de colúvio, considerados como depósitos de encosta (de gravidade);

- depósitos elúvio, sendo a capa de alteração das rochas, porém, depósitos autóctones;

- rochas aflorantes + depósitos de elúvio, sendo considerados as rochas inalteradas associadas às rochas alteradas intercaladas;

d) Produtos dos cruzamentos iniciais

Foi criado também um PI na categoria temática a partir da litologia obtida da fotointerpretação, sobrepondo-se dados do levantamento de campo, gerando-se assim a carta litológica que contém as seguintes classes:

- Formação Botucatu, arenitos eólicos;

- Formação Serra Geral, rochas vulcânicas básicas;

- Formação Serra Geral rochas vulcânicas ácidas;

- depósitos coluviais, , considerados como depósitos de gravidade derivados dos produtos de alteração das rochas da Formação Botucatu e da Formação Serra Geral;

- depósitos aluviais, sendo formados pela atividade fluvial dos rios Terra-Cardoso, Arroio Chimarrão e rio Três Forquilhas;

- depósitos terraço lagunar, ou seja, os terraços mais elevados sobre a planície lagunar, detectados na fotografia aérea;

- depósitos eólicos, considerados os depósitos de dunas mais antigas da planície costeira interna;

- depósitos planície lagunar, adjacentes aos terraços lagunares, porém, num patamar abaixo daqueles;

- depósitos flúvio-deltaicos, sendo os sedimentos formados pelos deltas intra-lagunares dos rios Terra-Cardoso, Arroio Chimarrão e rio Três Forquilhas, ao desaguardem na lagoa de Itapeva;

A carta de formações superficiais foi gerada pelo cruzamento dos PIs formações superficiais obtidas pela fotointerpretação e rochas/solos obtidos pela classificação da imagem de satélite, geraram-se as seguintes classes geradas neste cruzamento:

- depósitos lagunares;
- depósitos deltaicos;
- rocha aflorante;
- depósitos de colúvio;
- depósitos de elúvio;
- elúvio+tálus+rocha;
- alúvio.

A carta de unidades hidrogeológicas foi criada a partir do cruzamento dos PIs de carta litológica e morfoestruturas, obtendo-se as seguintes classes:

- aquífero granular, existindo em função de rochas da Formação Botucatu;
- aquífero fraturado, em razão das rochas fraturadas da Formação Serra Geral;
- aquífero costeiro, inserido nos sedimentos quaternários lagunares;
- aquíclude, sendo aquelas unidades nulas para armazenamento de água, como depósitos de colúvio, bastante argilosos.

e) Produtos dos cruzamentos finais

Partindo-se do cruzamento da carta litológica com a carta de formações superficiais, gerou-se a carta de recomendação à extração de materiais para construção civil, tendo sido as seguintes classes estabelecidas:

- arenitos ou pedras-grés;
- basaltos;
- argilas e solos argilosos;
- cascalhos e areias de rios;
- areias finas.

A partir da combinação da carta litológica, com a carta de formações superficiais e a carta hidrogeológica, gerou-se a **carta de recomendação para obras de infraestrutura**, com as seguintes classes:

- desfavorável à implantação;
- implantar com ressalvas;
- favorável à implantação.

Os cruzamentos entre a carta litológica, a carta de declividade e a carta hidrogeológica contribuiu para a criação da **carta de recomendação à disposição de resíduos sólidos e loteamentos**, obtendo-se as seguintes classes:

- não recomendável para resíduos sólidos e loteamentos;
- desfavorável para resíduos sólidos e loteamentos;
- desfavorável para resíduos sólidos/indicado para loteamentos;
- favorável para resíduos sólidos e loteamentos.

Cruzando-se a carta de declividade com a carta de formações superficiais, obteve-se a **carta de recomendação à agricultura**, gerando-se as classes:

- recomendável a culturas temporárias;
- recomendável a culturas permanentes;
- não recomendável à agricultura.

A **carta de recomendação à implantação de área de preservação ambiental** foi obtida a partir da combinação de cruzamentos do PI de limite de reservas ecológicas, da carta de declividade e da carta de uso atual do solo, para a qual foram estabelecidas as seguintes classes:

- 2/3 superiores com mata nativa;
- margem lagunar;
- margem rios de 3^a e 4^a ordem;
- nascentes drenagens de 1^a ordem;
- declividades $\geq 45^\circ$;
- banhados.

O esquema do geoprocessamento dos dados estudados no SIG está exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Esquema de cruzamentos de PIs no SIG

CRUZAMENTOS	PRODUTOS
Litologia Obtida por Fotointerpretação X Dados Litológicos Obtidos em Campo	Carta Litológica
Formações Superficiais Obtidas por Fotointerpretação X Rochas/solos Obtidos pela Classificação da Imagem	Carta de Formações Superficiais
Carta Litológica X Morfoestruturas Obtidas por Fotointerpretação	Carta de Unidades Hidrogeológicas
Carta Litológica X Carta de Formações Superficiais	Carta de Recomendação à Extração de Materiais para Construção Civil
Carta de Formações Superficiais X Carta Hidrogeológica	Carta de Recomendação para Obras de Infraestrutura
Carta litológica X Carta de declividade X Carta Hidrogeológica	Carta de Recomendação à Disposição de Resíduos Sólidos e Loteamentos
Carta de Declividade X Carta de Formações Superficiais	Carta de Recomendação à Agricultura
Limite de reservas ecológicas X Carta de Declividade X Carta de Uso Atual do Solo	Carta de Recomendação à Implantação de Área de Preservação Ambiental

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Fotointerpretação

4.1.1. Rede de drenagem

O arranjo da drenagem nesta região de transição do planalto até a planície costeira aberta se dá conforme o condicionamento litológico, estrutural e deposicional dos terrenos. Assim, sobre o domínio de rochas vulcânicas da formação Serra Geral, bem como suas formações superficiais (colúvios), a drenagem apresenta padrão angular, paralelo e anastomosado, respectivamente. Ao atingir depósitos sedimentares quaternários, os rios adotam padrão meandrante.

Em virtude do elevado gradiente dado pela brusca mudança de atitude dentro de suas bacias hidrográficas, os cursos d'água alcançam alta velocidade, o que lhes dá grande competência como agente transportador de sedimentos, sendo estes extremamente grosseiros em direção à montante das bacias.

Ao chegar à unidade geomorfológica Planície Lagunar, os rios perdem a carga sedimentar grosseira, passando a desenvolver padrão meandrante, como uma forma de transferência da energia potencial gravitacional que detinha ao descer a escarpa.

A desembocadura dos rios que deságuam na lagoa Itapeva apresentam deltas mais ou menos desenvolvidos, podendo progredir para dentro do corpo lagunar, como é o caso típico do delta do rio Três Forquilhas.

O padrão angular corresponde àquelas drenagens que entalham as rochas da Formação Serra Geral as quais são quase sempre controladas pelo fraturamento dos basaltos e das rochas ácidas a intermediárias, mostrando algumas vezes nas confluências ângulos de 60° e 120° que se referem às morfoestruturas de direção nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste.

O padrão de drenagem meandrante tem maior expressão sobre a planície lagunar, onde as curvas dos meandros apresentam grandes raios, estando também presentes nos terraços aluviais. Nestes últimos, a densidade de drenagem é bem mais alta e a textura mais fina do que nos depósitos lagunares, onde tem-se uma densidade menor dos cursos d'água, produzindo textura grosseira das drenagens, onde os canais são mais largos e os segmentos longos.

Os meandros podem aparecer confinados aos vales principais, logo à jusante das zonas contendo rios com padrão angular, representando assim uma transição para o padrão meandrante, sendo encaixados segundo a direção dos fraturamentos regionais, produzindo-se o padrão subangular.

O padrão de drenagem **anastomosado** retrata o entalhamento dos cursos d'água sobre depósitos de colúvio, mostrando também uma densidade da drenagem mais alta em relação às outras zonas serrana e a planície do município de Três Cachoeiras, tendo textura muito fina, ou seja, canais estreitos e segmentos curtos.

Foram observadas as seguintes ordens de drenagens ao longo das bacias hidrográficas do município de Três Cachoeiras (Figura 3 - Rede de drenagem obtida por fotointerpretação):

- rios de primeira ordem;
- rios de segunda ordem;
- rios de terceira ordem;
- rios de quarta ordem.

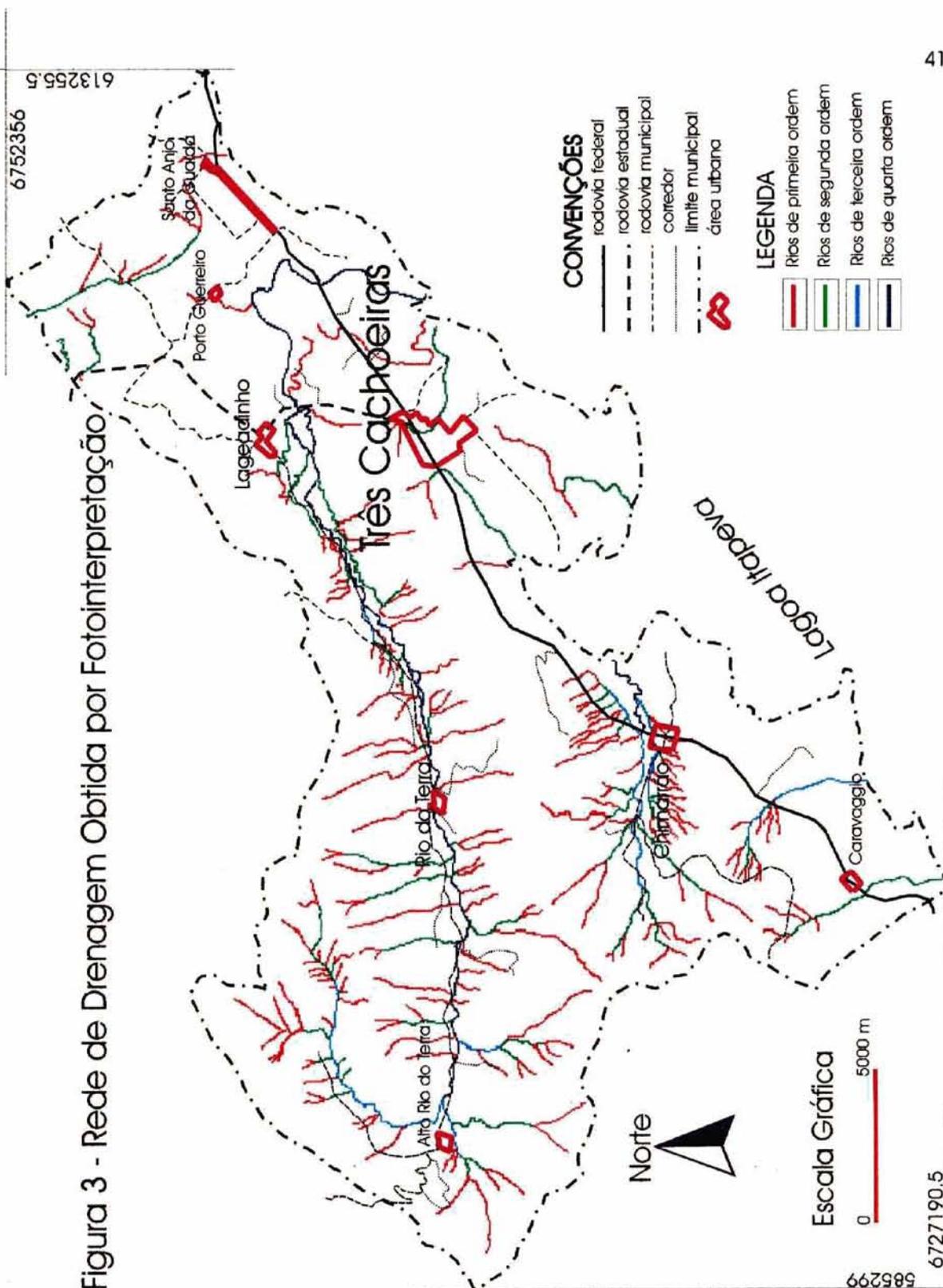
Os rios de **primeira ordem** revelam predominantemente as nascentes situadas nas cotas mais elevadas, sobre a Unidade Geomorfológica Serra Geral e, secundariamente, sobre a Unidade Geomorfológica Planície Lagunar, na forma de raros arroios que deságuam diretamente na Lagoa Itapeva.

As drenagens de **segunda ordem** situam-se também sobre a Unidade Geomorfológica Serra Geral, geralmente sendo afluentes dos rios mais importantes como Rio do Terra-Cardoso e Arroio Chimarrão.

Os rios de **terceira ordem** são representados pelo Arroio Chimarrão e pelos afluentes do Rio do Terra-Cardoso, que é um rio de **quarta ordem**.

O estudo sobre as fotografias aéreas pode estabelecer rios de ordem maior do que aquela observada apenas na carta planialtimétrica, o que pode ser visto na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Rede de Drenagem Obtida por Fotointerpretação



4.1.2. Litologia

As litologias geradas a partir da fotointerpretação foram digitalizadas dentro do sistema de geoprocessamento utilizado neste trabalho, sendo suas classes descritas a seguir.

A seqüência mesozóica corresponde à grande maioria de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, as quais se encontram sobrepostas aos arenitos da Formação Botucatu, presentes em menor quantidade de área, mas que são indivisos com os primeiros pela sua similaridade tonal e textural em fotografia aérea. Exibem, em fotografia aérea, tonalidade cinza clara, escurecendo em direção à base desta seqüência. A textura das rochas é maciça com forte fraturamento.

Representam as zonas de relevo acidentado do município e também os morros testemunho isolados entre os depósitos da planície costeira, possuindo altas declividades, traduzidas por formas abruptas, como taludes rochosos verticalizados nas vertentes dos flancos dos vales, espigões agudos retilíneos que formam os interflúvios e outros acidentes geográficos.

Nas porções mais elevadas ocorrem também formas planas, resquícios do Planalto dos Campos Gerais, contendo topos chatos situados na porção noroeste da área.

Estruturalmente, apresentam escalonamento resultante dos sucessivos derrames de lava, em se tratando de rochas vulcânicas, o que também pode confundir-se com camadas sedimentares. O escalonamento é dado pelos patamares rochosos intercalados com depósitos de tálus. Os principais lineamentos mostram direção nordeste-sudoeste e, secundariamente noroeste-sudeste, entrecruzados em ângulos de 60° e 120°, causados provavelmente por sistemas de fraturamentos devido ao resfriamento da lava e, posteriormente, sendo ou não reativadas na forma de falhas. Estes lineamentos revelam-se por meio do padrão de drenagem angular, característico de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral diagnosticado visualmente pelas direções principais (NE-SW) e pelo padrão paralelo, dado pelas direções secundárias (NW-SE).

Os depósitos de colúvio são caracterizados pela mudança de tonalidade e textura quando passa-se das rochas vulcânicas para estes depósitos de encosta. Observaram-se tons cinza claro e textura mosqueada na fotografia aérea, provavelmente causada pela mistura de materiais intemperizados com fragmentos de rocha.

O padrão de drenagem diagnostica melhor ainda esta litologia, sendo sub-paralelo e tendo alta densidade, drenagens finas, dada pelos canais estreitos, e pouco aprofundado. O

entalhamento desta drenagem é controlado pelo escoamento superficial, o qual provoca erosão em sulcos em direção ao curso d'água principal.

Os colúvios estão situados sobre relevos movimentados com declividades variando entre 15 - 30°, obtidas no SIG, estando assentados na média encosta, tendo contato transicional com o terraço aluvial e contato brusco com os depósitos lagunares.

Os **depósitos de terraço aluvial** formam corpos alongados em formato de cunha, constituindo áreas planas a levemente inclinadas nas bordas mais próximo dos colúvios, sendo encaixados nos vales estruturais inseridos na Unidade Geomorfológica Serra Geral.

Possuem tonalidade idêntica aos colúvios, tendo porém, textura lisa, o que indica deposição de planície de inundação com sedimentação fina, provavelmente areias muito finas e siltes. O padrão de drenagem é anastomosado irregular, formando ilhas com a bifurcação e reencontro dos cursos d'água, fato restrito a estes corpos sedimentares.

Situam-se ao longo dos médios cursos do rio Cardoso e arroio Chimarrão, tendo contato gradativo com os depósitos de colúvio e marcante com os depósitos de terraço lagunar.

Os **depósitos de terraço lagunar** são zonas muito planas, caracterizando corpos irregulares com bordas arredondadas, mostrando tonalidades muito mais claras do que outras áreas, provavelmente indicando natureza predominantemente arenosa do depósito.

A inexistência de cursos d'água sobre estas superfícies indica que são corpos bem drenados quanto ao subsolo, também sendo aqueles escolhidos para os assentamentos urbanos, entre outras atividades que requerem terrenos mais secos.

Os **depósitos de planície lagunar** caracterizam superfícies extremamente planas, mostrando tonalidades mais escuras que os depósitos de terraço lagunares, possivelmente ocasionadas pela retenção de água, que é indicativo de sedimentos finos argilosos.

Exibem textura típica, com linhas de regressão do sistema lagunar holocênico e atual, visualizadas nos pontais. Estes depósitos diferenciam-se dos depósitos de terraço lagunares entre outros aspectos pela existência de drenagem grosseira, de grande porte.

O padrão de drenagem é meandrante, os canais são bem mais largos que aqueles do restante da área, caracterizando o baixo curso dos rios principais, como o rio Cardoso e o arroio Chimarrão, caracterizando o baixo gradiente do relevo destas zonas. Os canais secundários são bastante longos em relação aos afluentes ocorrentes no restante da área.

Os depósitos flúvio-deltaicos se localizam na desembocadura dos rios Cardoso, Três Forquilhas, bem como na foz do arroio Chimarrão. Notabilizam-se por serem áreas bastante planas e úmidas, retratadas pela tonalidade escura dos sedimentos.

Possuem forma progradante intralagunar, indicada pela existência de linhas de acréscimo, direcionados para dentro do corpo lagunar conforme a energia do aporte sedimentar fluvial.

Estas litologias são mostradas na Figura 4 - Litologia obtida por fotointerpretação.

4.1.3. Formações Superficiais

As formações superficiais identificadas também foram digitalizadas no SGI/INPE, sendo suas classes descritas a seguir.

A rocha aflorante, segundo a definição supracitada, não se enquadra numa formação superficial. Mesmo assim, considerou-se sua presença em fotografia aérea para fins de delimitação e relação com as formações superficiais adjacentes.

Os elúvios correspondem aos mantos alterados *in situ*, sobre as rochas vulcânicas, sendo coberturas que ocupam, na maioria das vezes, os divisores de água na forma de topos achatados quando originados de rochas ácidas à intermediárias, encontrando-se também sobre os espigões alongados se originados a partir de rochas básicas.

Correspondem às zonas mais elevadas do município, porém restritos àquelas que possuem baixa declividade, fator que pode ter possibilitado o desenvolvimento e a permanência destes depósitos. São delimitados nas bordas por paredes bastante escarpadas contendo rocha aflorante.

Ao longo da encosta, entre os elúvios e os colúvios, visualizou-se uma unidade denominada **elúvio+tálus+rocha** indivisos, correspondendo à formação superficial intermediária contendo depósitos de tálus lateralmente alternados com rocha sã e rocha alterada (elúvio). Os tálus são pequenos depósitos de gravidade situados a grandes altitudes neste município, intercalados com superfícies rochosas. São caracterizados por coberturas bastante sujeitas à erosão e movimentos de massa.

Os colúvios são corpos que mostram quebra negativa de relevo quando em contato com a unidade anterior e quebra positiva em relação aos depósitos aluviais e lagunares. As declividades aqui são menores que nas zonas de elúvio+tálus+rocha, porém ainda fortes. Constituem coberturas espessas, sujeitas à erosão e movimentos de massa como deslizamentos e rolamentos de blocos.

Os alúvios mostram quebra negativa de relevo com referência aos colúvios, sendo considerados os depósitos aluvionares pleistocênicos. Possuem declividade variando de baixa a média (5 - 15°, calculada pelo SIG), fazendo com isso, que tenham boa estabilidade morfodinâmica nos locais mais planos.

Os depósitos lagunares incluem sedimentos holocênicos e pleistocênicos de origem lagunar (terraços e planícies), caracterizando formações superficiais extremamente planas com declividade praticamente nula, mostrando mínima quebra de relevo quanto aos alúvios.

Os depósitos flúvio-deltaicos são formações correspondentes à área física dos deltas holocênicos, restritos à desembocadura dos cursos d'água na lagoa Itapeva. São também formações superficiais extremamente planas que não mostram quebra de relevo com relação aos depósitos lagunares, diferenciando-se desses pela maior quantidade de água e pelas linhas de acréscimo lateral.

As formações superficiais podem ser observadas no mapa digitalizado no SGI/INPE (Figura 5 - Formações superficiais obtidas por fotointerpretação).

4.1.4 Morfoestruturas

Os lineamentos principais observados na fotointerpretação estão localizados sobre a sequência mesozóica, tendo sido gerados por atividades tectônicas da crosta terrestre (Figura 6 - Morfoestruturas obtidas por fotointerpretação).

Visualmente, as direções predominantemente observadas foram, conforme a ordem decrescente de frequência:

- noroeste-sudeste;
- nordeste-sudoeste;
- leste-oeste.

Figura 5 - Formações Superficiais Obtidas por Fotointerpretação

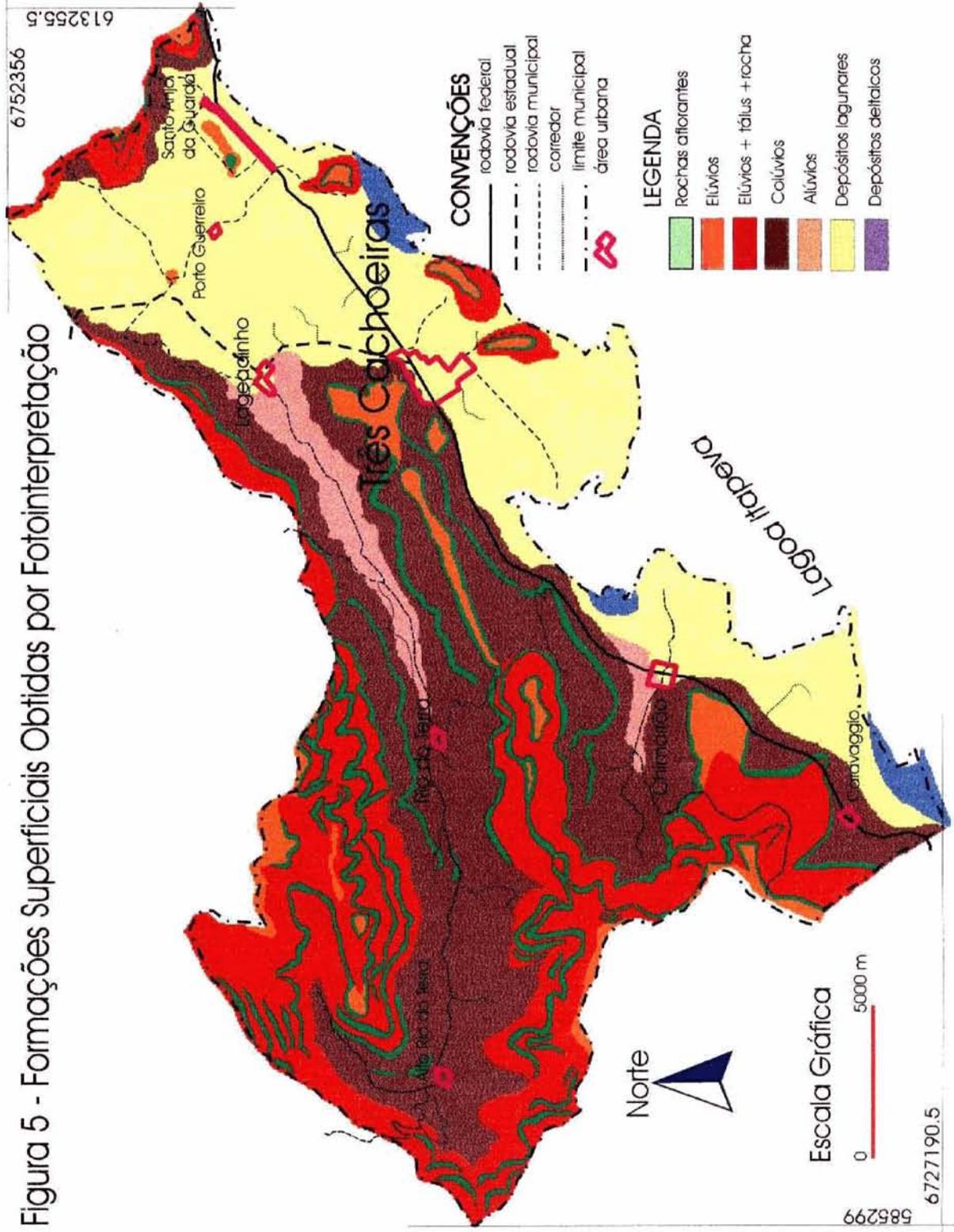
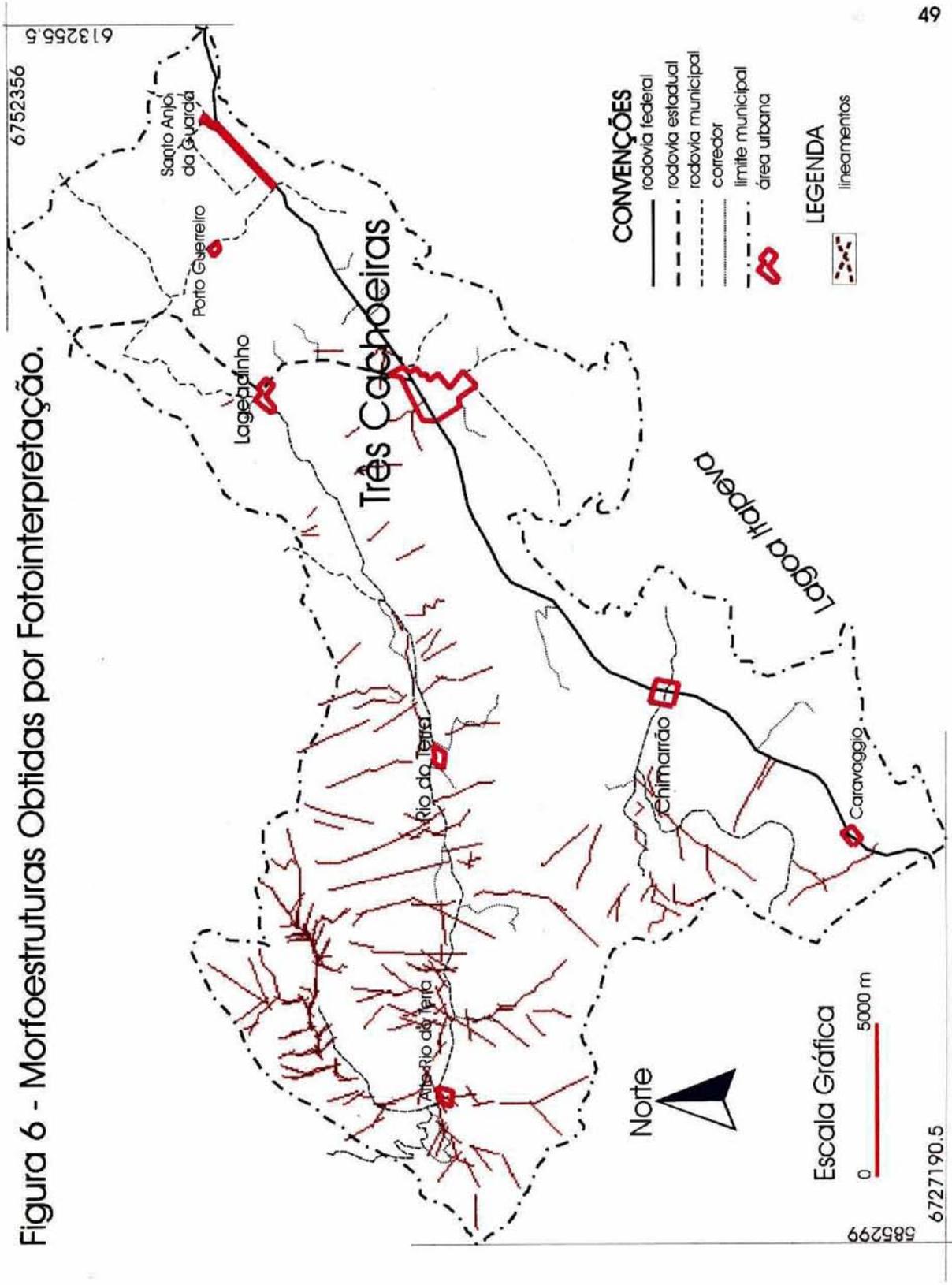


Figura 6 - Morfoestruturas Obtidas por Fotointerpretação.



4.2. Trabalhos de Campo

4.2.1. Litologia

Durante os trabalhos de campo observaram-se as litologias descritas a seguir, as quais contribuem para formar o relevo peculiar da região, caracterizando a transição da Unidade Geomorfológica Serra Geral para Unidade Geomorfológica Planície Lagunar (Foto 1).

A **Formação Botucatu** representa a litologia basal da área estudada, constituída por arenito felspático, apresentando macroscopicamente textura média em geral bem classificada, sendo os grãos sub-arredondados a arredondados. Como estrutura marcante, mostra-se estratificação cruzada de grande ângulo, evidenciando a origem eólica do depósito (Foto 2).

A cimentação da rocha pode ser por óxido de ferro que confere caráter friável e por sílica, que dá maior resistência à desagregação intempérica para esta litologia.

Os solos desenvolvidos sobre estas rochas são rasos e arenosos, podendo conter maior quantidade de matéria orgânica em terrenos planos e alagados. Nas encostas mais íngremes, têm-se solos litólicos e rocha aflorante em lajeados, assim como colúvios arenosos e depósitos de talus circundando os morros testemunho.

Situam-se no extremo nordeste do município, tendo sido observada uma ocorrência a sudoeste. Formam relevo ondulado num conjunto de colinas arredondadas com declives médios. O uso do solo predominante são as pastagens, tendo-se cultura de banana e remanescentes de mata nativa.

A **Formação Serra Geral** é composta por lavas básicas na porção basal do derrame, que é às vezes observado no contato com Arenito Botucatu. Apresenta cor escura, textura afanítica e diaclasamento vertical (Foto 3). Em torno da cota 700 metros, surgem rochas ácidas a intermediárias, caracterizadas pela cor acinzentada e o fraturamento horizontal que produz lajes finas. As rochas básicas são então sobrepostas por rochas ácidas a intermediária, mostrando paredões fortemente inclinados (Foto 4), onde aflora a rocha, enquanto que os basaltos mostram menor inclinação devido à cobertura dos depósitos de.



Foto 1. Vista de sudoeste para nordeste do município de Três Cachoeiras, observando-se a transição da Unidade Geomorfológica Serra Geral, representada pela Chapada do Chimarrão, para a Unidade Geomorfológica Planície Costeira Interna, formando a orla da lagoa Itapeva.

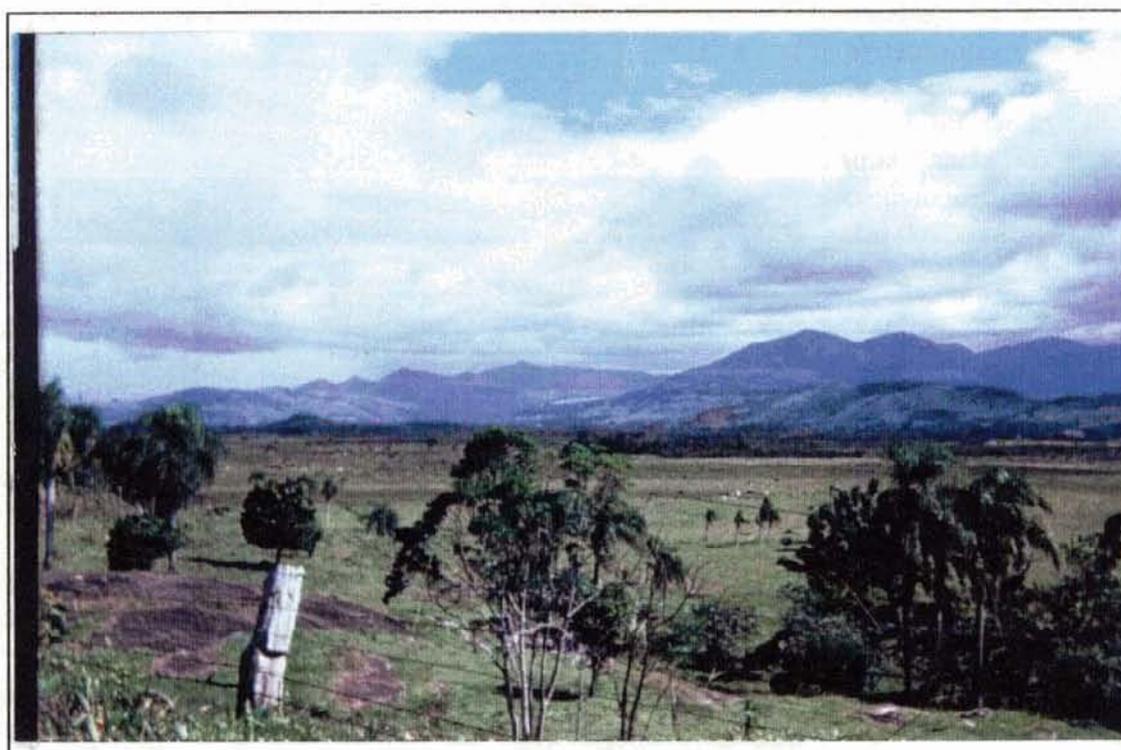


Foto 2. Vista para Leste da bacia do rio do Terra-Cardoso, em direção à montante, mostrando em primeiro plano, arenitos da Formação Botucatu, em plano intermediário, depósitos lagunares quaternários da U.G. Planície Costeira Interna e ao fundo, basaltos, colúvios e alúvios da U.G. Serra Geral.



Foto 3. (acima)
Afloramento de basalto,
pertencentes à
Formação Serra
Geral, formando
uma “janela” no
colúvio, distrito de
Rio do Terra.

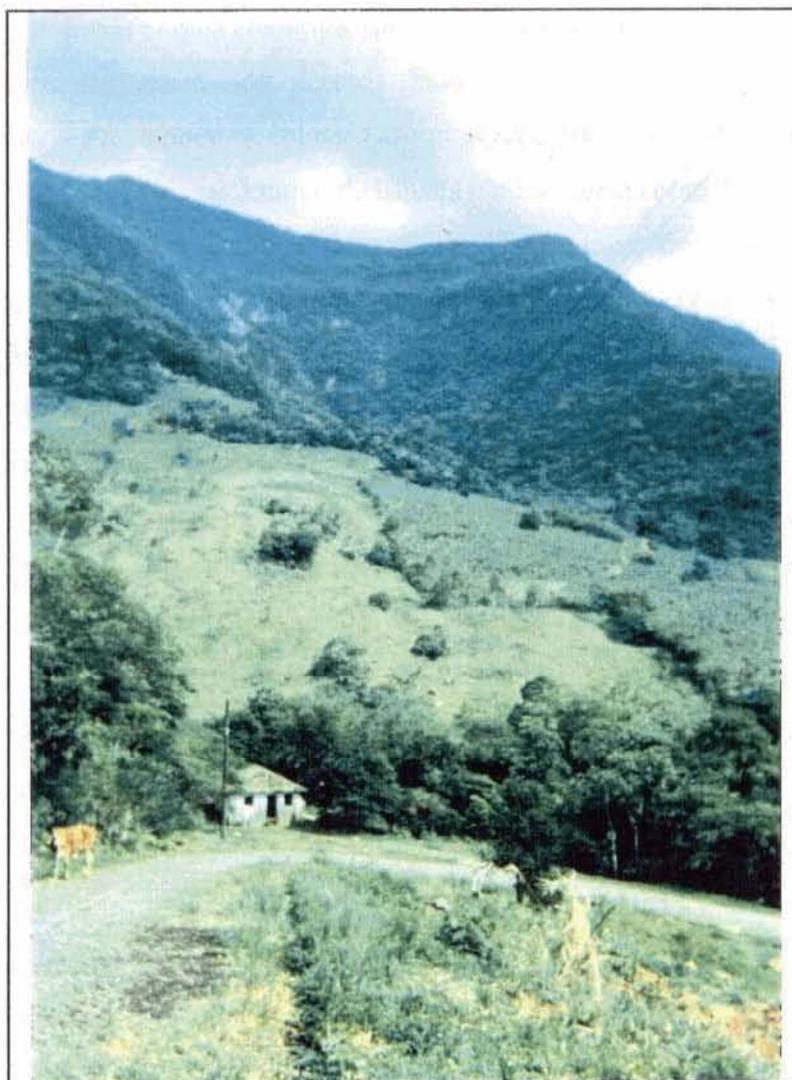


Foto 4. (ao lado)
Rochas ácidas a
intermediárias
pertencentes à
Formação Serra
Geral, localizadas
no topo da serra
do Alegrete,
mostrando
paredões verticais.

encosta gerados pela intemperização desta rocha básica, que é mais intensa do que nas rochas ácidas a intermediárias.

Os solos desenvolvidos neste conjunto litológico, são latossolos marrom avermelhados podendo conter blocos de rocha, havendo também solos litólicos bastante pedregosos (Foto 5).

Estas rochas vulcânicas recobrem amplamente o território municipal, principalmente a sul-sudoeste, retratando um relevo montanhoso, contendo fortes declives nas encostas superiores e declives médios na média e na baixa encosta. A ocupação do solo se dá por pastagens, culturas de banana e mata nativa.

Os **depósitos de colúvio** caracterizam-se por serem formados de blocos de rocha com dimensões variadas, imersos em matriz argilosa marrom avermelhada, provenientes da decomposição de basaltos e rochas ácidas a intermediárias, tendo como agente principal a ação da gravidade (Foto 6).

Formam corpos contínuos situados na porção média e ao sopé das encostas abruptas dos derrames, mostrando declives moderados a fortes, talvez encobrindo o Arenito Botucatu, na área onde os colúvios são mais espessos, a oeste do município. A ocupação do solo é feita por lavouras, cultivo de banana e mata nativa (Foto 7).

Os **depósitos eólicos** compõem-se de areias finas ferruginosas de coloração avermelhada, sem mostrar estrutura sedimentar. Os grãos são arredondados bem classificados. O relevo é suave ondulado e a superfície do terreno ocupada por reflorestamentos de eucalipto e lavouras de milho e cana-de-açúcar, bem como extração de material para aterro (Foto 8).

Os **depósitos de terraço lagunar** são constituídos por siltes contendo grandes quantidades de areia finíssima, de coloração cinza a cinza clara, caracterizando os terraços lagunares originados pela deposição lacustre em níveis marinhos mais elevados do que os atuais (Foto 9). Têm como ocupação principal do solo o reflorestamento (Foto 10), sendo os terrenos mais escolhidos para assentamentos urbanos de vilas, sedes distritais e mesmo da sede municipal de Três Cachoeiras.

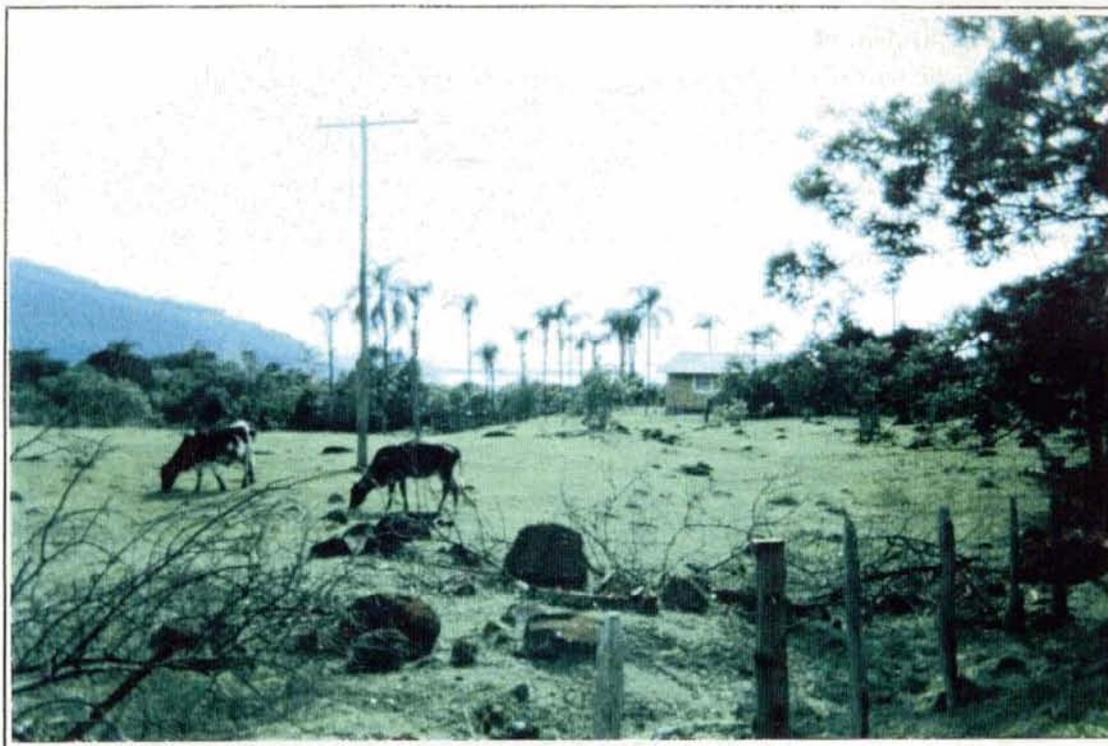


Foto 5. Solos litólicos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, localizados na Chapada do Chimarrão.



Foto 6. Corte de estrada, onde observa-se depósito de colúvio, contendo blocos de basalto irregulares envoltos em matriz argilosa, na localidade de Poço das Andorinhas.

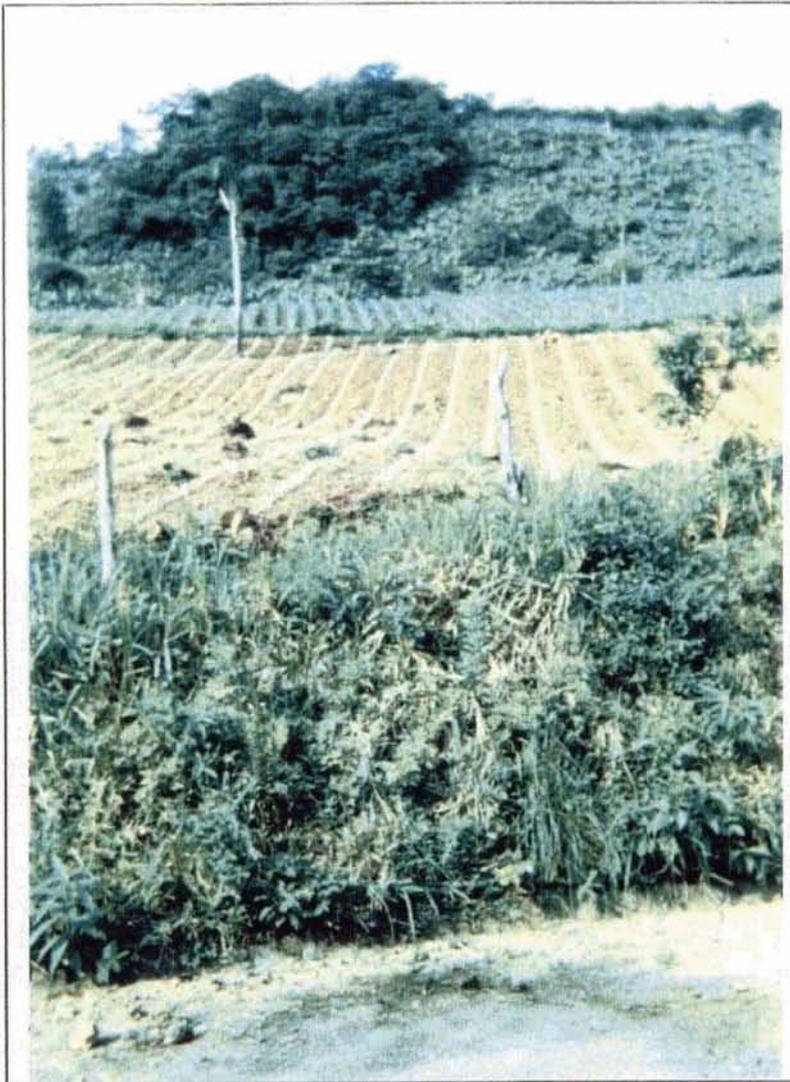


Foto 7. (ao lado)
Cultivo de abacaxi
sobre depósitos de
colúvio, em altas
declividades, na
localidade de
Chimarrão.

Foto 8. (abaixo)
Afloramento de
areias ferruginosas
pleistocênicas dos
depósitos eólicos
antigos, ancoradas
em morro
testemunho.





Foto 9. (ao lado)
Detalhe de depósitos de terraço lagunar, em canal escavado, o qual contém sedimentos siltico-argilosos.

Foto 10. (abaixo)
Desnível topográfico entre os depósitos de terraço lagunar (mais elevado) e depósitos de planície lagunar, sendo que o primeiro mostra indícios de erosão do material arenoso, no distrito de Lageadinho.



Os **depósitos aluviais** são formados por areias finas intercaladas com areias argilosas e com níveis de cascalhos (Foto 11). Caracterizam antigas várzeas semiplanas, originárias de planície de inundação do rio do Terra-Cardoso, assim como do Arroio Chimarrão. A ocupação atual destas várzeas dá-se por pastagens, plantio de banana, existindo remanescentes de mata ciliar (Foto 12).

Os **depósitos de planície lagunar** caracterizam a planície lagunar do final do período quaternário até o atual, e mostram sedimentos finos silticos com pequenas quantidades de areia muito fina de cor marrom acinzentado (Foto 13). São amplamente utilizados no plantio de arroz e culturas cíclicas.

Os **depósitos deltaicos** apresentaram constituição litológica de seus sedimentos semelhante aos depósitos de planície lagunar, porém mostrando localmente estrutura de deposição fluvial, constituindo um relevo extremamente plano (Fotos 14 e 15).

4.2.2. Aspectos geotécnicos

Os materiais de alteração derivados dos arenitos da **Formação Botucatu** caracterizam-se pela difícil compactação, mas o desmonte na extração e nos cortes para obras é relativamente fácil, porém, implicando em desgaste intenso do equipamento utilizado, devido à abrasividade da rocha que contém alta quantidade de quartzo em sua constituição mineralógica.

Não é recomendável como fonte de material para aterro, porque trata-se de substrato bastante erodível e também pela dificuldade de compactação, havendo necessidade de aplicar-se revestimentos nas superfícies dos aterros.

Geralmente, estes materiais são impenetráveis a trado a pouca profundidade, possuindo condições de suporte e fundação de aterros excelentes e boas condições de fundação para obras civis (Foto 16).

A drenagem do subsolo é excelente, podendo aflorar água nos cortes, sendo que sua permeabilidade ótima facilita o escoamento do lençol subterrâneo, constituindo um excelente aquífero. A estabilidade dos cortes na rocha são ótimas, admitindo-se taludes verticais.



Foto 11. Terraço aluvial pleistocênico, mostrando erosão fluvial atual dos depósitos, tendo-se, do topo para base, cascalhos de canal fluvial cobertos por areias finas siltico-argilosas de planície de inundação, distrito de Rio do Terra.



Foto 12. Leito atual, contendo cascalhos no rio do Terra, sedimentos grosseiros de origem fluvial dispostos sobre barra em pontal, no distrito de Lageadinho.



Foto 13. Depósitos de terraço lagunar à beira da lagoa Itapeva, no distrito de Santo anjo da Guarda.

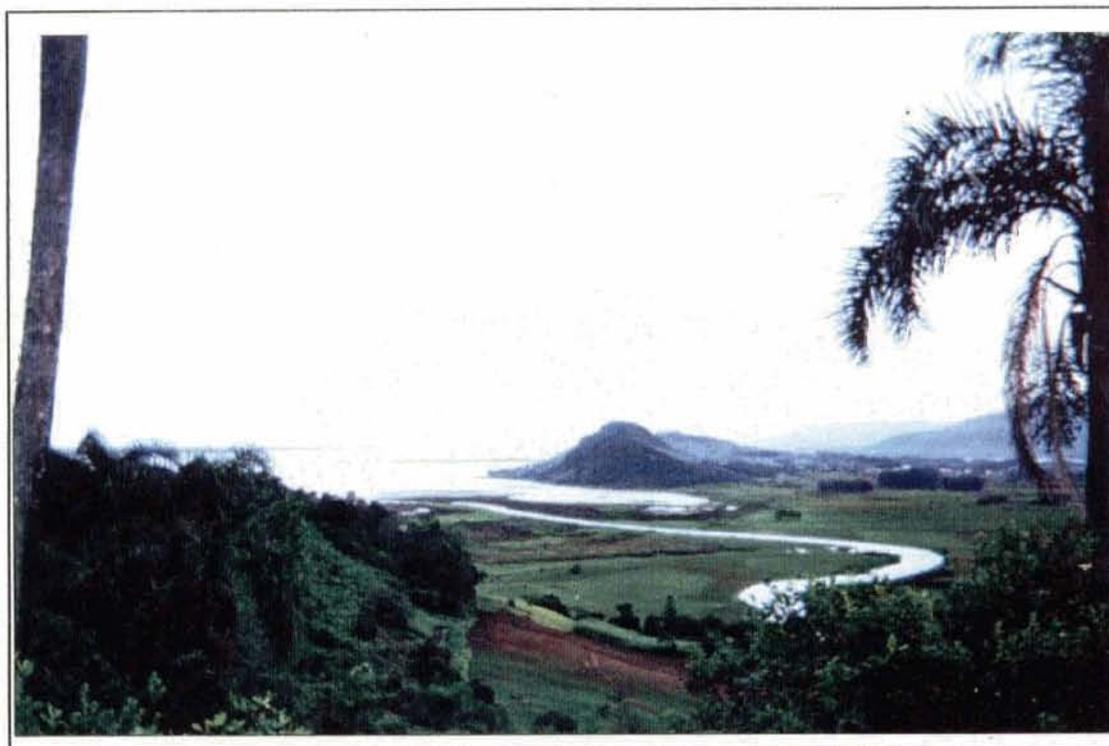


Foto 14. Delta progradante do rio Cardoso sobre a lagoa Itapeva, mostrando parte do padrão meandrante.



Foto 15. Delta progradante do rio Três Forquilhas sobre a lagoa Itapeva, mostrando suas ilhas e parte dos depósitos de planície lagunar.

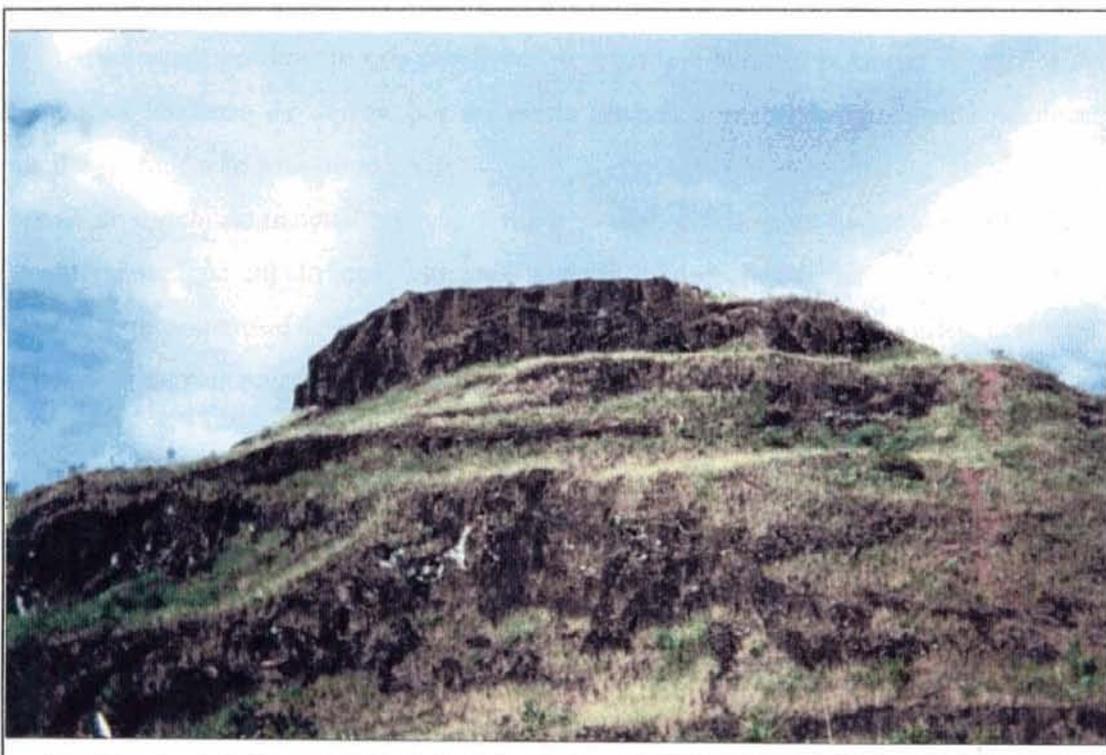


Foto 16. Aspecto de sítio abandonado de pedra de basalto da Formação Serra Geral, formando topo degradado de morro testemunho no distrito de Santo Anjo da Guarda.

Os materiais de alteração das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral permitem escavação fácil quando forem homogêneos e, da mesma forma, sua compactação. Quando atingido o nível rochoso, há necessidade de escarificação e uso de explosivos nas atividades de extração deste bem mineral ou na retirada da rocha nas obras civis.

As rochas sãs fornecem boas condições de suporte, do contrário, a profunda intemperização gera materiais argilosos com blocos de rocha dispersos, conferindo sanidade insatisfatória ao substrato para assentamento de obras.

Apresentam excelentes condições de fundação de obras civis quando a rocha está inalterada e pouco fraturada, pois devem ser evitados assentamentos de fundações sobre matacões dispersos em matriz intemperizada.

Os depósitos de colúvio constituem material de difícil compactação devido a sua heterogeneidade, sendo a escavação facilitada conforme a diminuição do tamanho dos blocos imersos no material argiloso.

É fonte restrita de material para aterro, face aos aspectos como má compactação, volumes pequenos de argila face aos matacões e a pouca distribuição das jazidas na área. A erosão dos colúvios é dada pela instabilidade do material e pelas condições de declividade alta (15° a 30°) em que se situam estes depósitos (Foto 17).

Apresentam geralmente más condições de suporte e também péssimas condições de material para fundação de aterros, por ser muito instável, fornecendo igualmente péssimas condições de fundação para obras civis.

A drenagem do material coluvial é má a regular, dificilmente havendo possibilidade de encontrar-se água subterrânea. Mostram alta instabilidade nos cortes, ocorrendo quase sempre escorregamentos e deslizamentos causados por fatores diversos, entre estes, cortes na base dos taludes, pela retirada da vegetação e pela saturação do material inconsolidado (Foto 18).

Os depósitos eólicos permitem fácil escavação de suas areias, possuindo boa compactação, características que lhe conferem uma ótima fonte de material para aterro de obras civis, necessitando tratamentos de revestimento dos taludes de aterro, para evitar

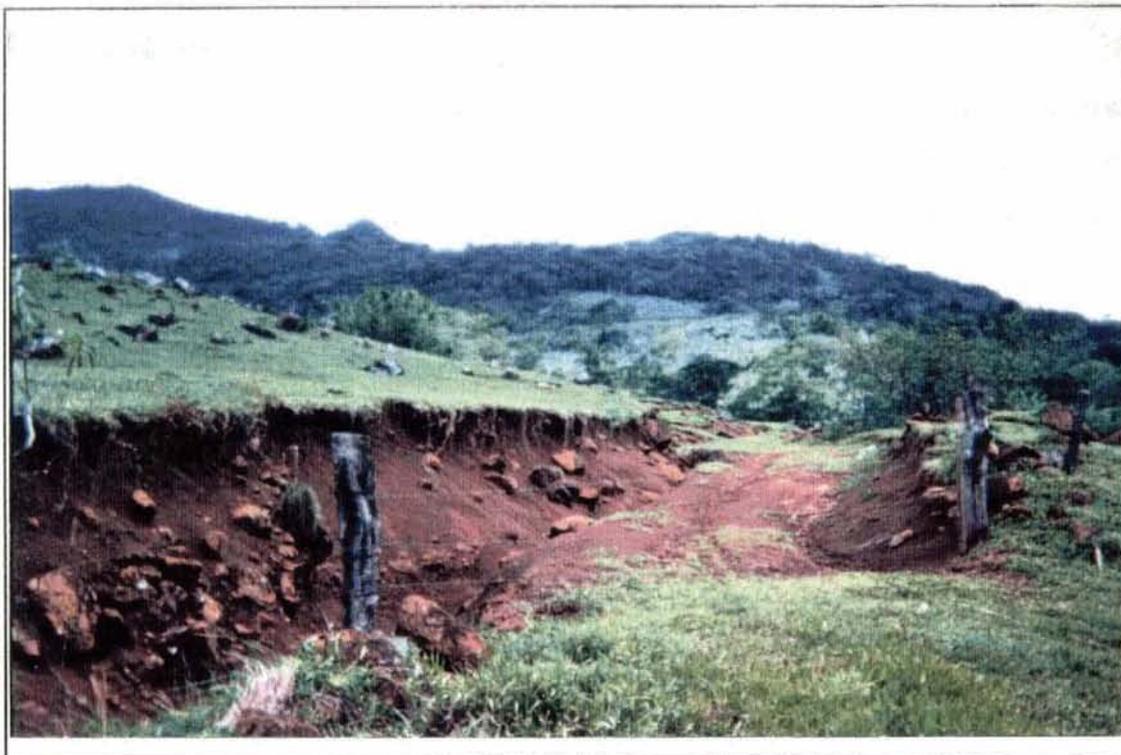


Foto 17. Erosão de depósitos de colúvio, motivada por abertura de caminho de propriedade, atualmente abandonado, Alto Rio do Terra.



Foto 18. Deslizamento de terra de depósitos de colúvios, com material inconsolidado ao lado da rodovia municipal, distrito de Rio do Terra, tendo-se o registro do rolamento de blocos e matacões de basalto, motivado pelo seu descalçamento.

erosão. As condições de suporte são boas, assim como para fundação de aterros para obras civis.

As areias destes depósitos possuem alta permeabilidade, podendo formar aquíferos localizados. Pelo fato do material ser bastante desagregável e arenoso, há grande suscetibilidade à erosão, não sendo aconselháveis taludes íngremes, tanto de aterro quanto de corte.

Os depósitos de terraço lagunar são materiais com baixa capacidade de compactação devido à grande quantidade de material fino, tendo facilidade de escavação e terraplenagem quando estão em condições secas, mas muito difícil quando saturados.

Apresentam fracas condições de suporte, o que lhes conferem também poucas condições para suporte de aterros e para obras civis.

Os depósitos aluviais constituem materiais de escavação bastante fácil, porém, sua compactação torna-se difícil, devido a sua heterogeneidade e plasticidade. Sendo assim, estes aspectos excluem os mesmos para que sejam empregados na execução de aterros.

As condições de suporte são fracas, devido à presença de camadas argilosas, tendo-se condições de fundação de aterro precárias, devido à existência de solos moles alternados com outras camadas, conferindo ao material más condições para implantação de obras civis.

A drenagem destes aluviões é regular nas camadas arenosas e péssima nas argilas, havendo poucas possibilidades de exploração de água subterrânea.

Os aluviões mostram-se resistentes quando secos, porém frágeis ao saturar-se em água e, por isso, não sendo recomendável a execução de cortes profundos, admitindo-se cortes verticais de até 1 metro quando o material for argiloso.

Os depósitos lagunares e os depósitos deltaicos são materiais de difícil compactação devido à predominância de material fino, tendo quase sempre dificuldade de escavação e terraplenagem, pois a presença do nível freático via de regra aflorante ou muito próximo da superfície o torna muito saturado.

As condições de suporte são péssimas, devido à presença de solos moles. Consequentemente, estes depósitos fornecem más condições para fundação de aterros e de obras civis em geral.

A má drenagem é dada pela constante saturação dos sedimentos, permanentemente inundados nos depósitos deltaicos, implicando em permeabilidade nula. De forma alguma, não se recomendam cortes neste material.

Conforme observado durante os trabalhos de campo, as situações de ocupação do solo influenciaram no comportamento geotécnico dos terrenos em Três Cachoeiras. Certos tipos de culturas comprometeram a estabilidade dos colúvios, como as culturas cíclicas, visto na Foto 7, sendo que outras ajudaram a manter a estabilidade dos solos, como é o caso do cultivo de banana nas encostas (Fotos 19 e 20).

No que tange às obras de rodovias municipais, mesmo aquelas em que não há pavimentação, há boa estabilidade dos cortes e corpo da estrada (Foto 21), havendo locais em que foram tomadas medidas de contenção de taludes e pavimentação do leito da estrada com paralelepípedos (Foto 22).

4.2.3. Aspectos econômicos

Os produtos de alteração dos arenitos da **Formação Botucatu** são considerados ótimos materiais para emprego na produção de solo-cimento, e também como base e sub-base de pavimentos rodoviários, pois permitem tráfego regular de veículos mesmo após precipitações intensas.

Quando as rochas da **Formação Serra Geral** estão inalteradas, podem constituir excelentes materiais para produção de brita de concreto, base, sub-base, material drenante, pedras de construção e pavimentação, pedras decorativas. No entanto, são raras as ocorrências de jazidas no município (Foto 16).

As considerações econômicas para o material dos **depósitos de colúvio** indicam pela não utilização do mesmo em qualquer tipo de obra de engenharia, a não ser quando material argiloso for isento de blocos de rocha.

O material oriundo dos **depósitos eólicos** é amplamente empregado nos aterros para construção civil no município de Três Cachoeiras, podendo também ser utilizado na produção de solo-asfalto e solo-cimento (Foto 8).



Foto 19. Cultivo de banana na encosta, atingindo topo do morro, vista da RS-494, entre Lageadinho e Morro Azul.



Foto 20. Cultivo de banana ao sopé da encosta, no distrito de Ruio do Terra.



Foto 21. (acima)
Estrada não
pavimentada, com
boas condições de
estabilidade na
encosta, na
chapada do
Chimarrão.

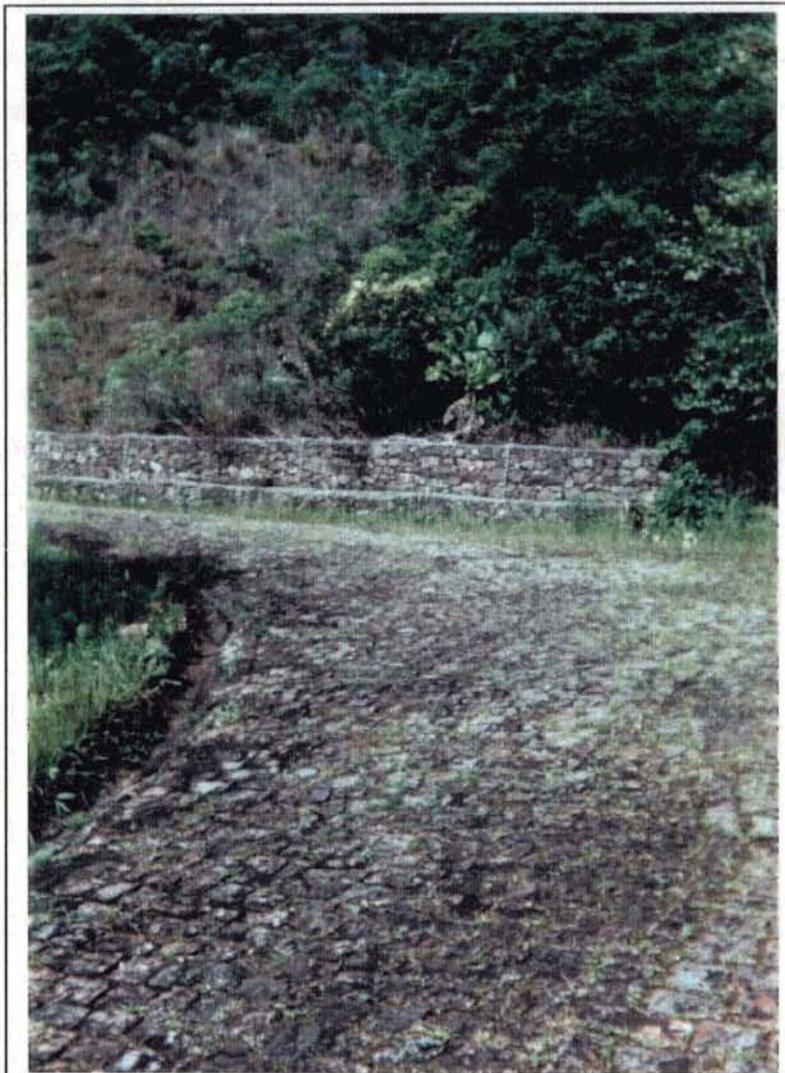


Foto 22. (ao lado)
Medida de
contenção de
taludes, utilizando
gabiões e
pavimentação com
paralelepípedos.

Economicamente, os depósitos aluviais, depósitos de terraço lagunar, depósitos de planície lagunar e depósitos deltaicos têm aplicabilidade geotécnica muito restrita. Como leito de rodovia, mostra trafegabilidade impossível sob chuvas moderadas. No entanto, o material argiloso pode ser empregado em cerâmica.

Observou-se em campo que o município possui poucas frentes de lavra de materiais de construção, fato confirmado pelo assessoria de planejamento da Prefeitura Municipal de Três Cachoeiras, que informou ainda, o fato de algumas pedreiras e saibreiras estarem embargadas, o que coincide com os dados de TRAININI (1994). Os materiais que requerem especificações técnicas mais rigorosas, como rocha para ser britada, são buscados no município de Torres, a mais ou menos 25 quilômetros de distância.

4.3. Tratamento de Imagens

Inicialmente, foram feitas correções geométricas das imagens utilizadas neste estudo, permitindo que posteriormente os produtos do processamento e da classificação das imagens fossem cruzados nos sistemas de geoprocessamento utilizados durante o desenvolvimento do trabalho. A imagem utilizada para o presente trabalho possui uma resolução espacial de 30x30 metros no terreno. Os parâmetros estatísticos das bandas da imagem estudadas são apresentados na Tabela 3. A matriz de variância/covariância e a matriz de correlação entre as seis bandas da imagem está mostrada nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos básicos das bandas utilizadas

PARÂMETROS	BANDAS					
	1	2	3	4	5	7
ND mínimo	0	0	0	0	0	0
ND máximo	106	84	237	94	221	189
média	29,1230	11,8574	12,5970	20,1111	20,0336	5,0479
desvio padrão	19,6790	8,3812	9,6387	18,8306	21,9985	6,3729

Tabela 4 - Matriz de variância/covariância

BANDA	1	2	3	4	5	7
1	387,82					
2	161,94	70,24				
3	177,92	78,77	92,9			
4	253,39	107,00	111,18	354,59		
5	266,70	117,70	132,61	373,73	483,93	
7	71,73	32,67	39,08	93,86	132,47	40,61

Tabela 5 - Matriz de Correlação

banda	1	2	3	4	5	7
1	1					
2	0,981194	1				
3	0,937357	0,975072	1			
4	0,683304	0,677986	0,612530	1		
5	0,615636	0,638367	0,625412	0,902195	1	
7	0,567595	0,611729	0,636265	0,782147	0,944911	1

4.3.1. Aumento de contraste

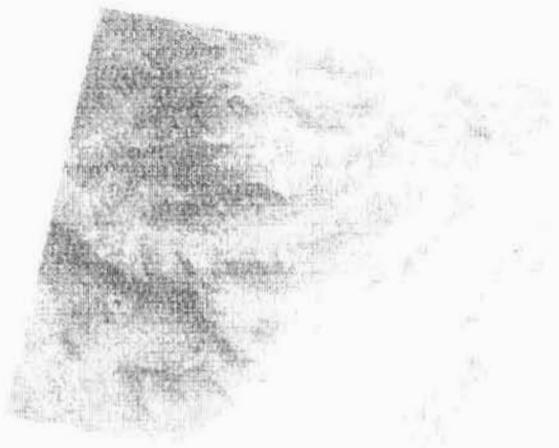
Analisando-se os histogramas referentes às bandas espectrais da imagem do município de Três Cachoeiras, observa-se que são unimodais nas bandas 1, 2, 3 e 7 e marcadamente bimodais nas bandas 4 e 5 (anexos). Isto se deve ao fato da área ser coberta, em grande parte por água, o que agrupa frequências de pixels próximo da origem, onde estão localizados os NDs mais escuros, ao passo que os outros níveis de cinza espalham-se, com menor evidência, em outro pico de moda.

Em todas as bandas espectrais referentes à imagem utilizada nesta dissertação foi aplicado aumento de contraste, o que fez com que os histogramas fossem expandidos, sendo que a Tabela 6 abaixo mostra de forma resumida as mudanças dos parâmetros iniciais das imagens, causada pelo aumento de contraste.

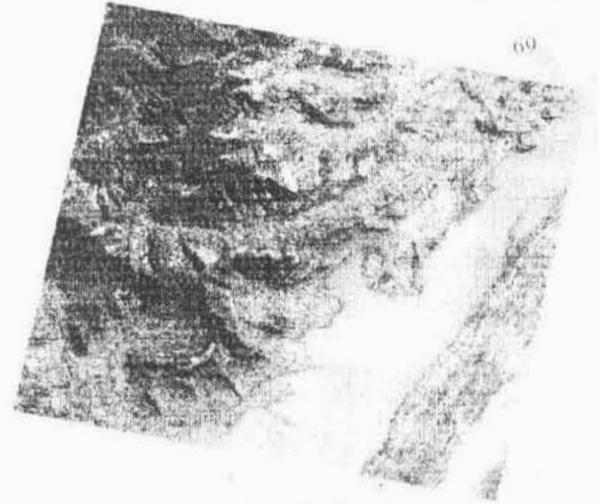
Tabela 6 - Parâmetros estatísticos modificados por contraste das bandas utilizadas

PARÂMETROS	BANDAS					
	1A	2A	3A	4A	5A	7A
ND mínimo	0	0	0	0	0	0
ND máximo	255	255	255	255	255	255
média	154,7466	136,7616	122,3063	87,8831	111,6482	107,6807
desvio padrão	103,8590	95,6211	90,9549	81,4878	113,0451	113,7058

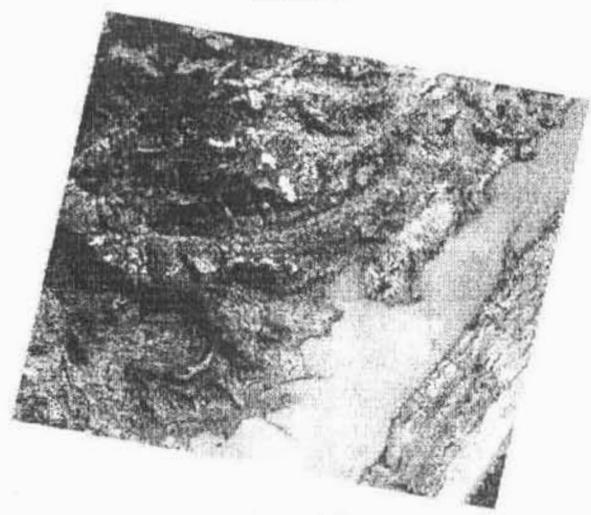
O resultado foi uma melhor visualização da cena em cada banda espectral, características que podem ser vistas na Figura 7, como uma melhora da banda 1, que tem originalmente pouco contraste devido à contribuição atmosférica, sendo praticamente escura. Estas bandas foram muito importantes na definição de áreas alagadas e corpos d'água, conferindo as informações de NOVO (op. cit.)



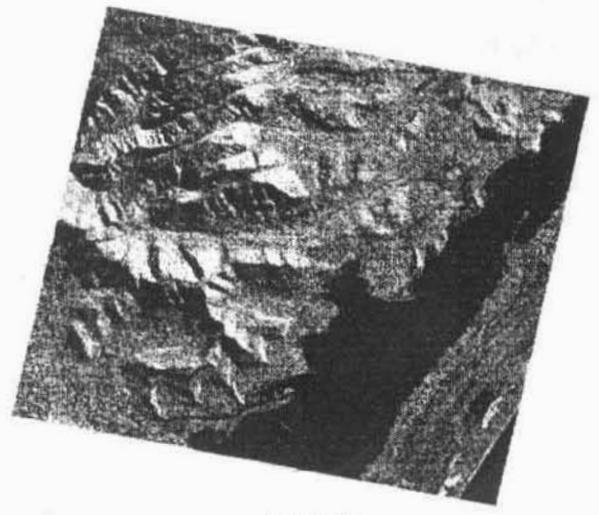
banda 1



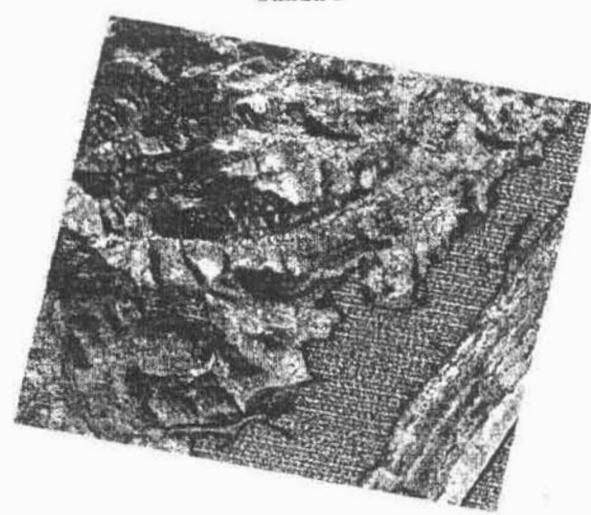
banda 2



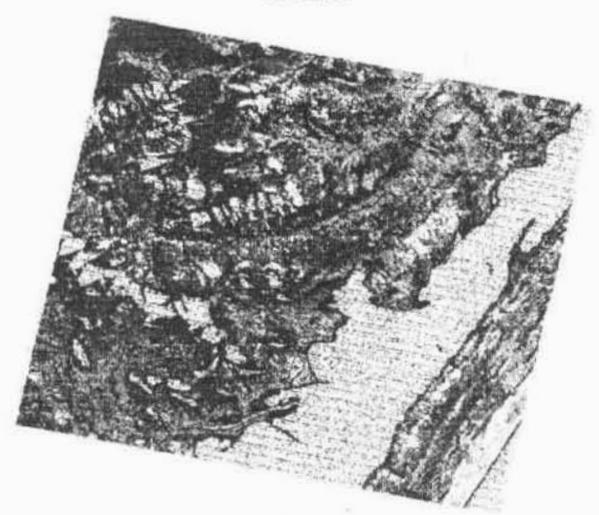
banda 3



banda 4



banda 5



banda 7

0 ————— 5000 m
Escala Gráfica



Figura 7 - Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 TM LANDSAT 5, com aumento de contraste.

4.3.2. Seleção de bandas

Pela rotina de seleção de atributos do Sistema de Tratamento de Imagens do INPE, a qual utiliza arquivos de amostras adquiridas com a finalidade de estabelecer o melhor conjunto de bandas para classificação, permitiu-se que numa etapa posterior, fossem utilizados melhores triplete de bandas na reaquisição de novas amostras e melhorar a classificação. Obtiveram-se as triplete de bandas que maximizam as distâncias J-M média e mínima, aplicados aos arquivos de amostras adquiridas sobre composições de bandas das imagens contrastadas, 3, 4 e 5 por exemplo, para áreas temáticas de cobertura/uso do solo e rochas/solos, conforme exposto nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. E pelo método de CHAVES JR. et al. (1982), que estabelece o "fator de índice ótimo - FIO", em função do triplete com menor correlação entre as bandas, foram selecionados os triplete de bandas que podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 7 - Seleção de bandas para coberturas/uso do solo

Triplete que maximizam a distância J-M média					
classes	distâncias				tripletes
	J-M média	Battacharya média	J-M mínima	Battacharya min.	
áreas alteradas/agricultura	1,379694	7,913395	1,071859	0,854351	3 4 5
áreas alteradas/agricultura	1,377222	7,950816	1,108989	0,954327	2 4 5
áreas alteradas/agricultura	1,372703	7,363040	0,996968	0,687110	3 4 7
Triplete que maximizam a distância J-M mínima					
classes	distâncias				tripletes
	J-M média	Battacharya média	J-M mínima	Battacharya min.	
áreas alteradas/agricultura	1,377222	7,950816	1,108989	0,954327	2 4 5
áreas alteradas/agricultura	1,361136	6,625196	1,1010	0,931687	3 5 7
agricultura/campo	1,357837	6,696213	1,078062	0,870143	2 3 5

Tabela 8 - Seleção de bandas para rochas/solos

Triplete que maximizam a distância J-M média					
classes	distâncias				tripletes
	J-M média	Battacharya média	J-M mínima	Battacharya min.	
elúvio/deposito lagunar	1,379694	7,913395	1,071859	0,854351	3 4 5
colúvio/rocha	1,377222	7,950816	1,108989	0,954327	2 4 5
elúvio/deposito lagunar	1,348360	6,825124	1,058251	0,820861	1 3 5
Triplete que maximizam a distância J-M mínima					
classes	distâncias				tripletes
	J-M média	Battacharya média	J-M mínima	Battacharya min.	
elúvio/deposito lagunar	1,349671	6,703360	1,029985	0,755947	3 4 5
elúvio/deposito lagunar	1,349055	6,073360	1,026503	0,748351	2 4 5
elúvio/deposito lagunar	1,348360	6,825124	1,058251	0,820861	1 3 5

Tabela 9 - Seleção de triplete de bandas pelo Fator de Índice Ótimo - FIO

Triplete	$\Sigma\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$	$\Sigma_{cc} = x/y + x/z + y/z$	FIO = $\Sigma\sigma/\Sigma_{cc}$
1 2 3	37.6989	2.8936	13.0285
1 2 4	46.8906	2.3424	20.0182
1 2 5	50.0585	2.2351	22.3965
1 2 7	34.4329	2.1605	15.9377
1 3 4	48.1483	2.2332	21.5603
1 3 5	51.3162	2.1784	23.5568
1 3 7	35.6906	2.1412	16.6684
1 4 5	60.5081	2.2011	27.4895
1 4 7	44.8825	2.0033	22.4043
1 5 7	48.0504	2.1281	22.5804
2 3 4	36.8505	2.2656	16.2653
2 3 5	40.0184	2.2388	17.8749
2 3 7	24.3928	2.2207	10.9726
2 4 5	49.2103	2.2185	22.1813
2 4 7	33.5847	2.0719	16.2099
2 5 7	36.7526	2.1950	16.7437
3 4 5	50.4678	2.1401	23.5816
3 4 7	34.8422	2.0309	17.1557
3 5 7	38.0101	2.2066	17.2257
4 5 7	47.2020	2.6292	17.9526

Os resultados obtidos pelos dois métodos apontaram predominantemente para os três tripletes de bandas 3 4 5, 1 4 5 e 2 4 5. Baseando-se nisto, produziram-se as combinações entre estes triplete de bandas, conforme os canais RGB. No conjunto geral, o triplete que apresentou melhor definição dos alvos num maior número de combinações foi 3 4 5 (Figura 8).

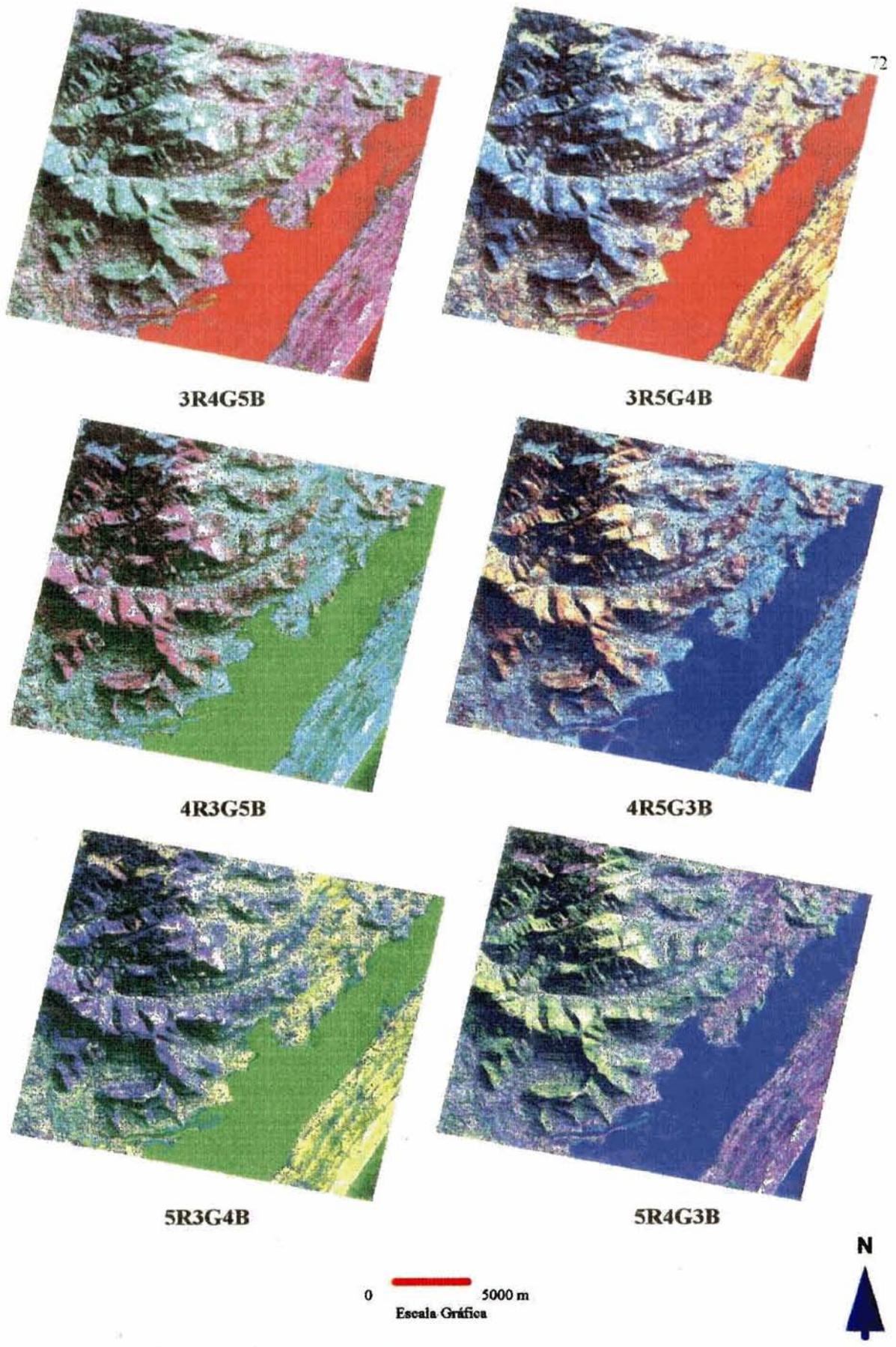


Figura 8 - Combinação em composições coloridas entre bandas 3,4, e 5.

4.3.3. Operações aritméticas

A adição de imagens propiciou a concentração das seis bandas originais em três novas bandas, as quais somam os NDs das bandas 1+2, 3+4 e 5+7. Os parâmetros estatísticos das bandas adquiridas por adição e seus respectivos resultados do aumento de contraste aplicado se encontram na Tabela 10 e nos histogramas em anexo:

Tabela 10 - Parâmetros estatísticos de bandas geradas por adição e de suas respectivas bandas com histogramas ampliados.

PARÂMETROS	BANDAS					
	1+2	1-2A	3+4	3+4A	5+7	5+7A
ND mínimo	32,00	0,00	32,00	0,00	32,00	0,00
ND máximo	177,00	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
média	73,0554	101,7604	64,6927	81,3143	57,0558	67,1645
desvio padrão	27,9632	76,1067	25,8809	68,2853	28,0932	75,0650

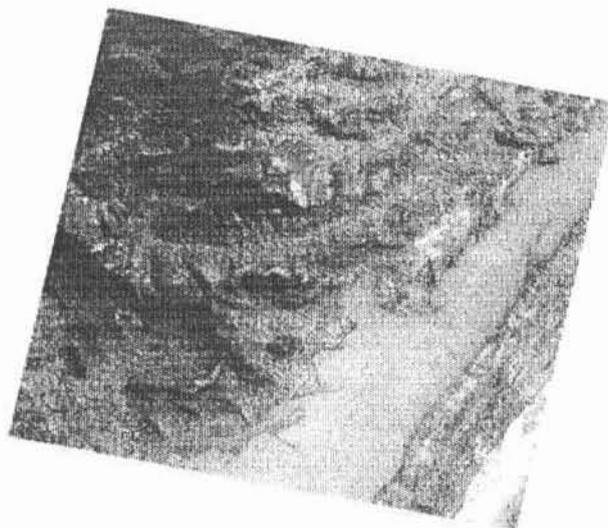
Observando-se a Figura 9, vêem-se os seguintes resultados:

- melhoramento da definição dos alvos em 1+2, semelhante à banda 2 contrastada, porém com melhor definição dos alvos;

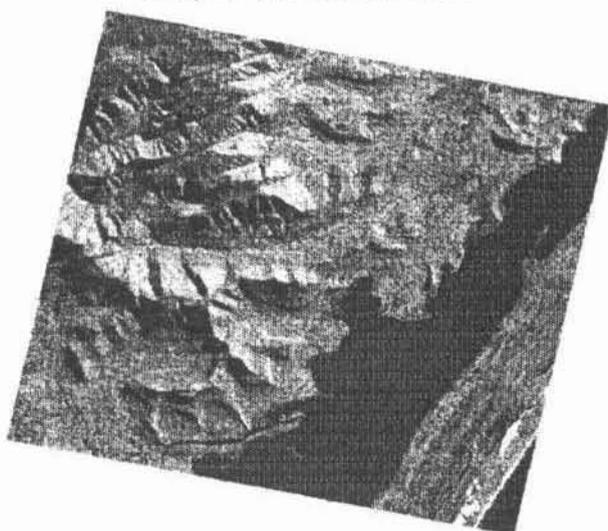
- melhoramento da definição dos alvos em 3+4, pelo aumento de contraste e diminuição dos pixels escuros que haviam na banda 4 original, com resultado mais próximo desta;

- melhoramento da definição em 5+7, aproximando-se da banda 5 original, pelo aumento do contraste e diminuição dos pixels escuros da banda 7 original.

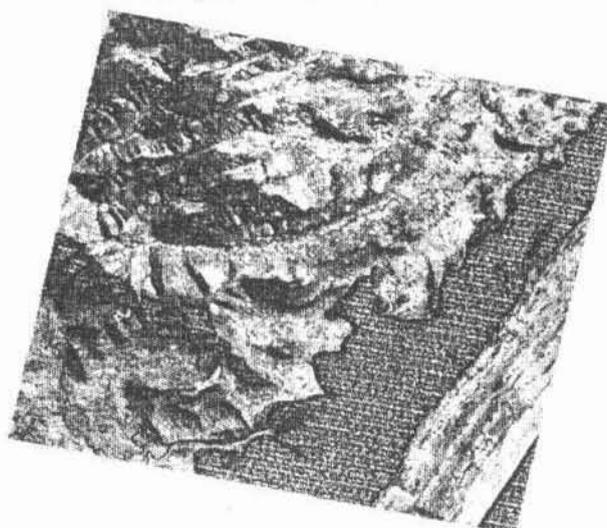
Após, fez-se a combinação das bandas resultantes nos canais RGB, conforme mostra a Figura 10. No geral, a operação aritmética de adição propiciou um melhoramento generalizado dos alvos, principalmente quando as bandas geradas por adição foram combinadas na composição colorida R5+7, G3+4 e B1+2, que se mostrou sensivelmente melhor do que a composição colorida das bandas originais R5G4B3. Às bandas geradas por adição também foi aplicado aumento de contraste.



adição das bandas 1 e 2



adição das bandas 3 e 4

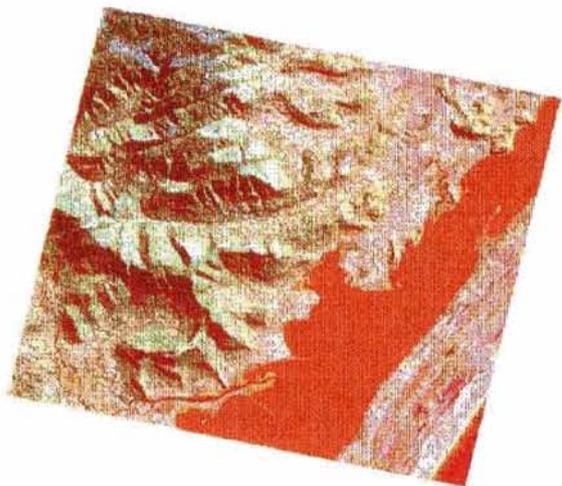


adição das bandas 5 e 7

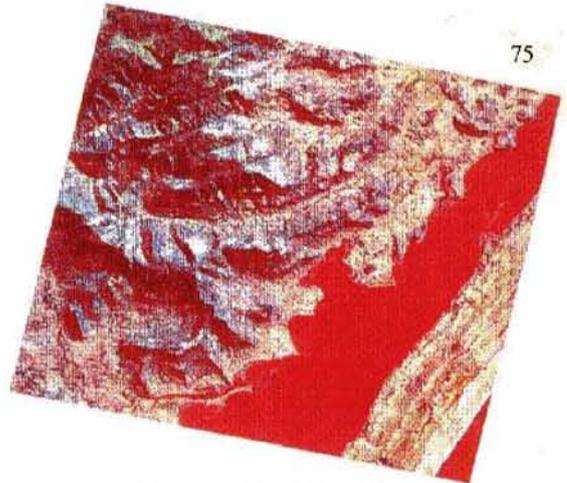
0 — 5000 m
Escala Gráfica



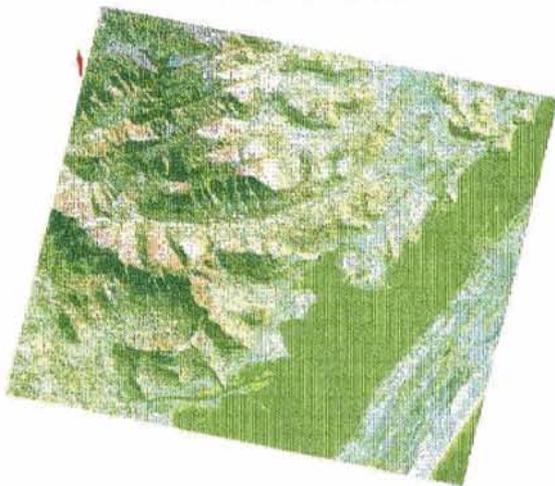
Figura 9 - Bandas obtidas por adição com aumento linear de contraste.



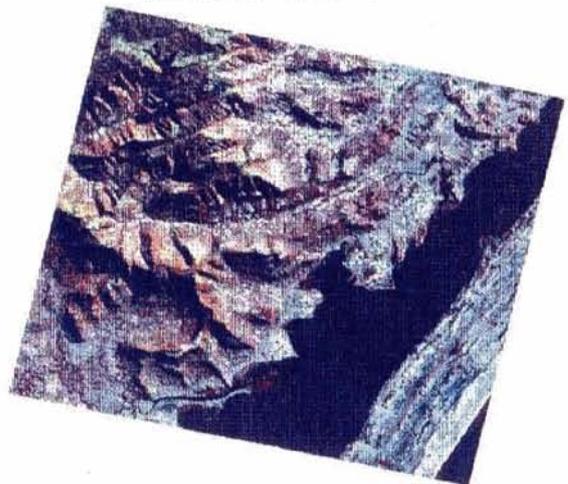
R1+2, G3+4, B5+7



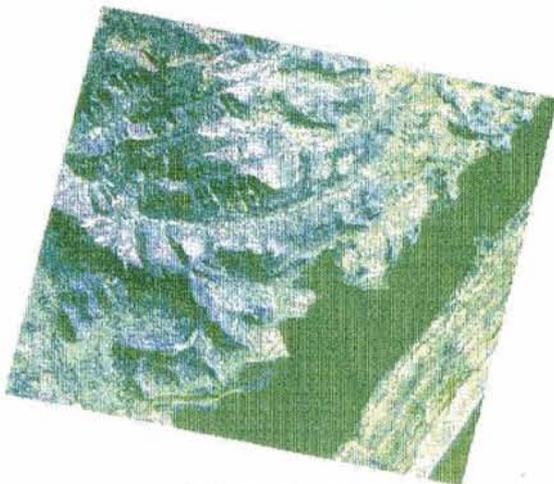
R1+2, G5+7, B3+4



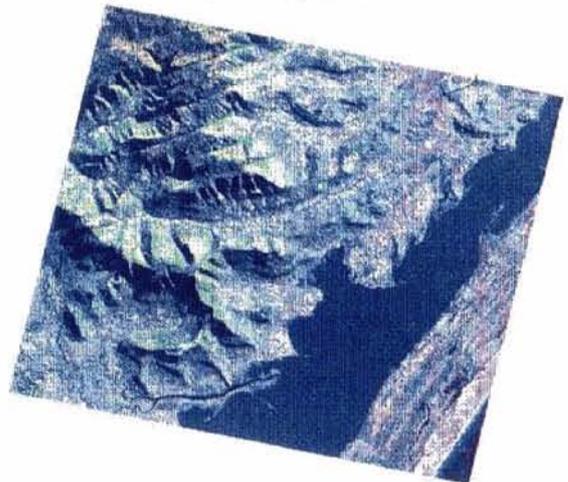
R3+4, G1+2, B5+7



R3+4, G5+7, B1+2



R5+7, G1+2, B3+4



R5+7, G3+4, B1+2

0 5000 m
Escala Gráfica



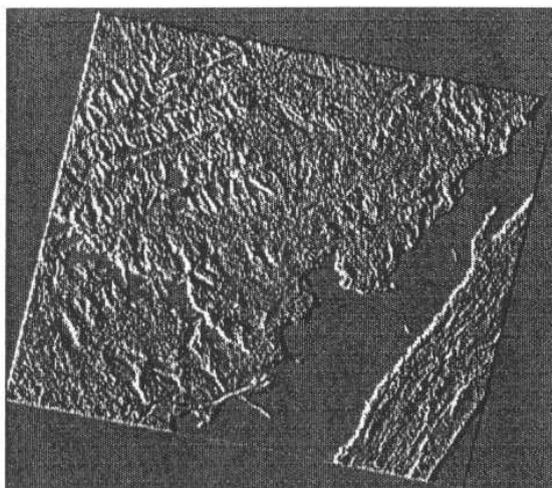
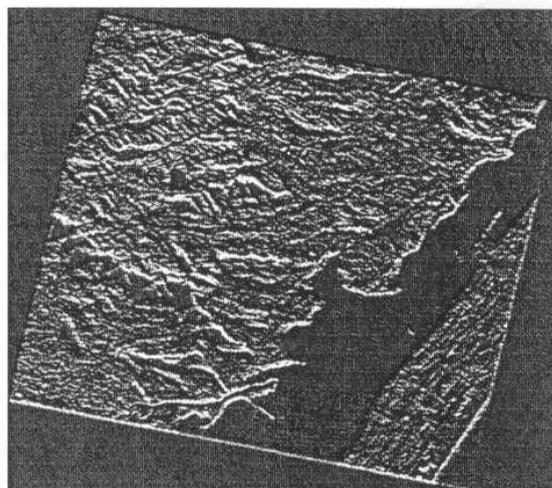
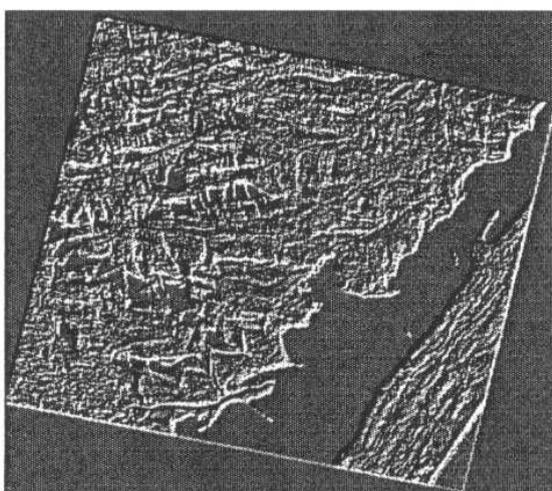
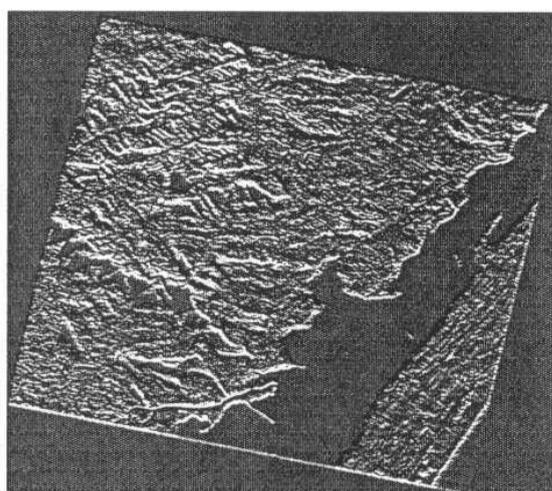
Figura 10 - Composições coloridas entre bandas geradas por adição.

4.3.4. Filtragens

Conforme citado na metodologia, foram aplicados filtros direcionais sobre a banda 4, cuja imagem ressalta melhor as morfoestruturas da área, principalmente na zona escarpada. Assim, obtiveram-se quatro novas imagens (Figura 11), que são as seguintes:

- Norte-Sul, evidenciando estruturas secundárias na direção NW-SE e outras poucas NE-SW;
- Leste-Oeste, evidenciando lineamentos nesta direção, bem como NW-SE e NE-SW;
- Nordeste-Sudoeste, evidenciando além de estruturas nesta direção, em todos outros rumos;
- Noroeste-Sudeste, evidenciando lineamentos desta direção e NW-SE.

Os filtros Nordeste-Sudoeste e Leste-Oeste evidenciam algumas estruturas, que coincidem com aquelas caracterizadas na Figura 6 - Morfoestruturas obtidas por Fotointerpretação, e que provavelmente sejam lineamentos contendo as fraturas das rochas da Formação Serra Geral.

**Filtro N-S****Filtro E-W****Filtro NE-SW****Filtro NW-SE**

0 ——— 5000 m

Escala Gráfica



Figura 11 - Tipos de filtros aplicados sobre a banda 4 do TM LANDSAT 5.

4.3.5. Aplicação de componentes principais

Resultaram da análise por componentes principais os seguintes parâmetros expostos nas matrizes abaixo:

CP	Matriz de Auto-Valores (%)		Matriz de Auto-Vetores (* 100)					
1	1153	(81)	51	60	16	49	21	23
2	220	(15)	-28	-50	12	68	27	31
3	46	(3)	75	-48	-31	6	7	-27
4	7	(0)	24	23	15	-48	28	73
5	2	(0)	8	-30	91	12	13	-19
7	0	(0)	-3	0	6	-15	87	44

As componentes principais passaram por aumento de contraste, mostrando aspectos individuais de seus produtos, os quais podem também ser observados na Figura 12:

- componente 1 com boa resolução entre tons claros e escuros, a observar por seus histogramas em anexo;

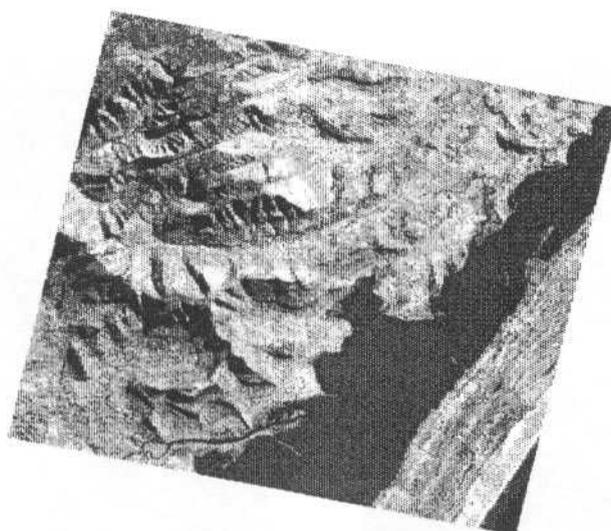
- componente 2 com tons contrastados, dando a impressão de inversão de relevo pela tonalidade clara dos locais originalmente sombreados (água e sombra) e escura das zonas antes iluminadas;

- componente 3 contendo vazios, devido à menor quantidade de informações, pela eliminação de águas e sombras, sendo que as áreas preenchidas apresentam contraste razoável, principalmente as zonas iluminadas.

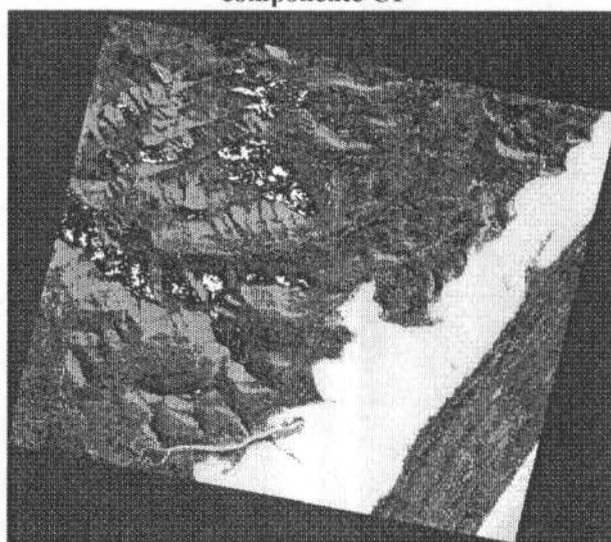
Estas componentes foram processadas em composição colorida nos canais R, G e B, resultando em seis combinações distintas, conforme a Figura 13. A Tabela 11 mostra o resumo estatístico dos histogramas originais e expandidos das bandas C1, C2 e C3, que também podem ser vistos em anexo.

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos das bandas C1, C2 e C3.

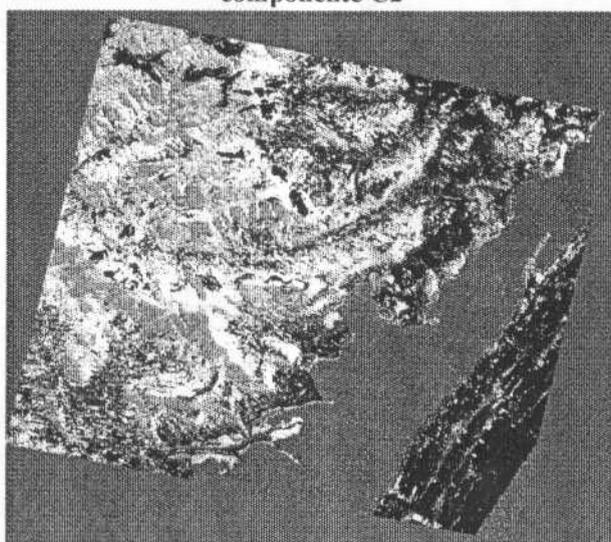
PARÂMETROS	BANDAS					
	C1	C1A	C2	C2A	C3	C3A
ND mínimo	0	0,00	66,00	0,00	0,00	0,00
ND máximo	189,00	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
média	5,0479	85,9290	126,5378	90,0058	127,6316	108,9906
desvio padrão	6,3729	78,2711	47,7828	64,1072	44,8557	70,0274



componente C1



componente C2



componente C3

0 5000 m
Escala Gráfica



Figura 12 - Componentes principais com aumento de contraste.

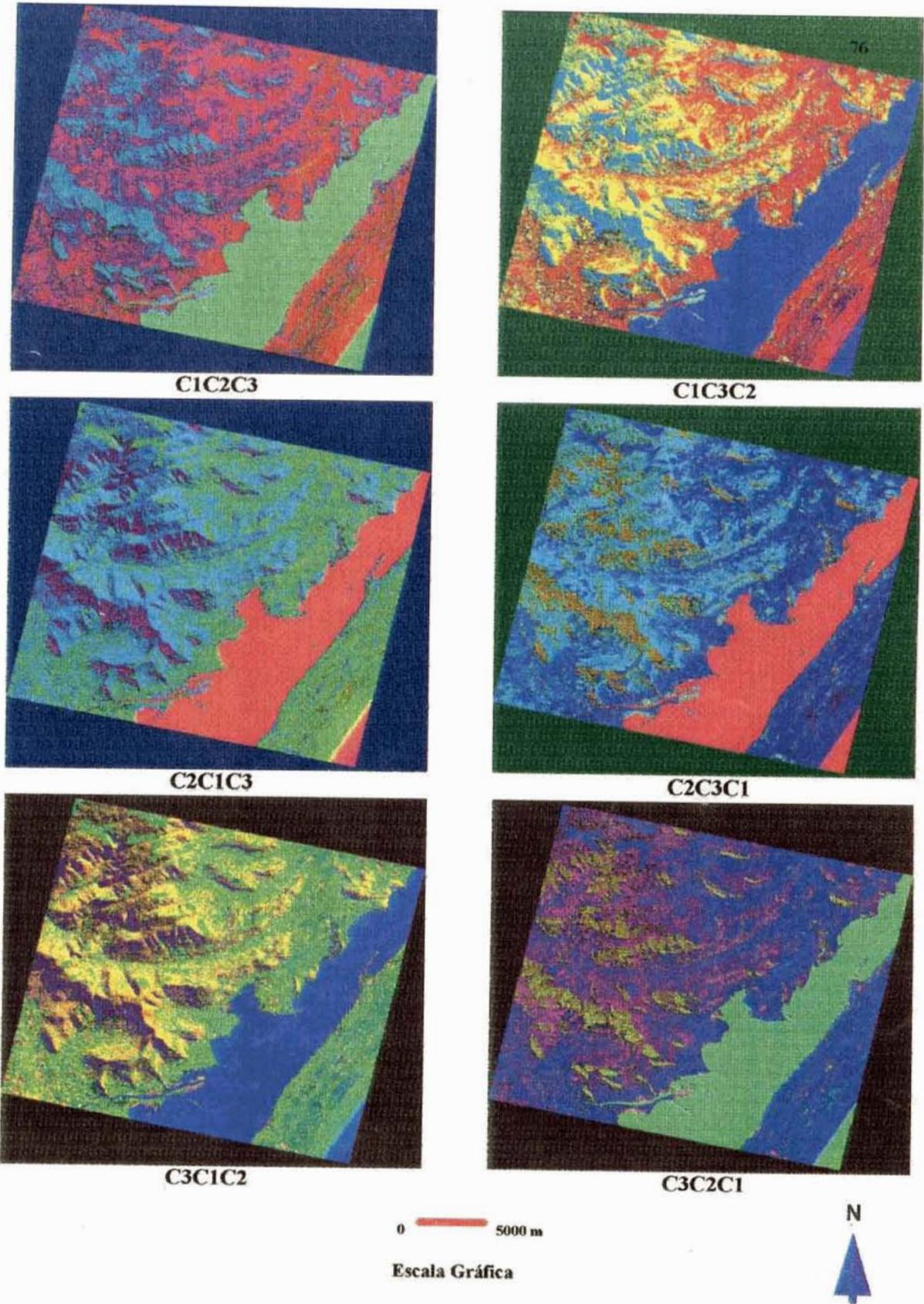


Figura 13 - Combinação em composições coloridas entre bandas C1, C2, e C3.

4.3.6. Classificação de Imagens

A classificação da imagem resultou em duas áreas temáticas, definidas sob o tema rochas/solos, onde extraiu-se informações sobre rochas e formações superficiais e o tema cobertura/uso do solo, que forneceu dados sobre ocupação e recobrimento do solo do município de Três Cachoeiras.

a) Rochas/solos, distribuídos nas seguintes classes:

- depósitos flúvio-lagunares;
- depósitos alúvio-deltaicos;
- depósitos de colúvio;
- depósitos elúvio;
- rochas aflorantes + depósitos de elúvio;
- água fluvial;
- água lagunar;
- sombra.

Os depósitos flúvio-lagunares reúnem os depósitos fluviais pleistocênicos situados nos terraços aluviais, os depósitos lagunares também holocênicos dos terraços lagunares e os depósitos de planície lagunar das planícies lagunares. Inicialmente, tentou-se a individualização entre depósitos holocênicos (planícies lagunares) e depósitos pleistocênicos (terraços lagunares). Porém, as amostras caíam dentro da mesma classe pelo fato daqueles sedimentos apresentarem comportamento espectral semelhante na imagem. Finalmente resultou que parte das amostras dos depósitos flúvio-lagunares confundiram-se com as classes depósitos eluvionares (3,1 %), depósitos coluvionares (3,6 %), depósitos alúvio-deltaicos (1 %) e água fluvial (3,1 %).

Os depósitos alúvio-deltaicos individualizaram os depósitos deltaicos e os depósitos fluviais recentes, cujo comportamento espectral foi facilmente identificado pela quantidade de água contida, havendo pouca confusão com a classe anterior (2,5 %), com coberturas coluvionares (1,3 %) e áreas degradadas (1,3 %).

Os depósitos coluviais foram individualizadas pelo sistema devido à tonalidade peculiar e às condições de iluminação na cena, bem como pela referência de contexto devido ao cobertura/uso do solo, que no caso é bastante ocupado por culturas permanentes como

banana. Confundiu-se com depósitos lagunares e deltaicos em porcentagens de 5,3 % e rocha aflorante, em 2,7 %.

Os depósitos de elúvios foram reconhecidos em poucas áreas da imagem pela classificação, talvez devido à densa cobertura vegetal de sua superfície, a qual se mantém regularmente preservada devido ao difícil acesso. Não houve confusão com outras classes, porém, 14,1 % das amostras não foi classificada.

As rochas aflorantes + depósitos de elúvio foram amostrados nos locais de declividade forte em que ocorrem paredões de rochas expostas, bem como onde tem-se solo muito raso e pedregoso, não havendo condições de separabilidade dos mesmos pelo método de classificação empregado, devido à variação da vegetação e muitas vezes, seu adensamento. Foram confundidos com colúvios em 12,5 %. A matriz de classificação final para rochas/solos tem as seguintes características, conforme a Tabela 12:

Tabela 12 - matriz de Classificação para rochas/solos

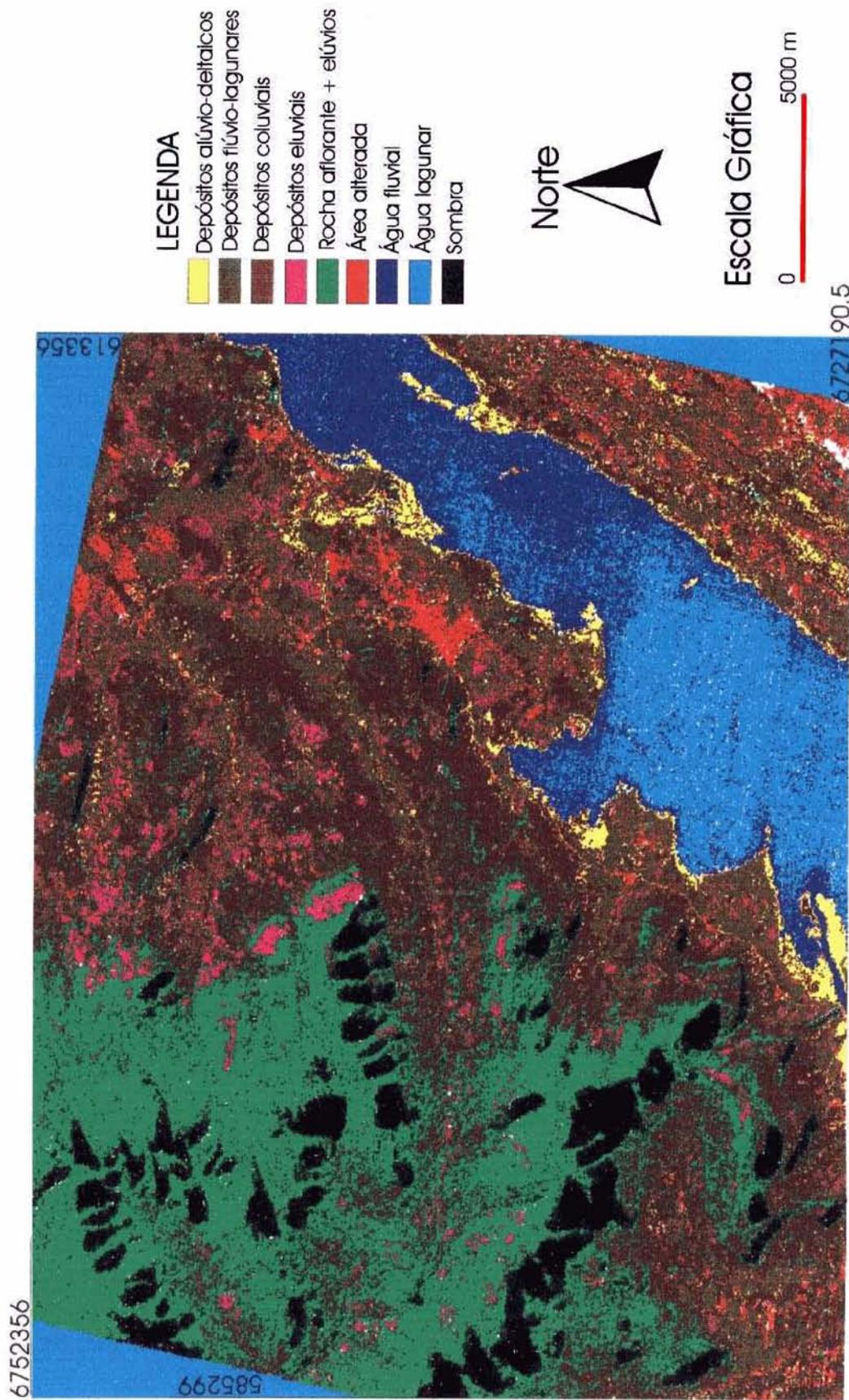
CLASSES	Não Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 depósitos flúvio-lagunares	3.1	85.4	1.0	0.0	0.0	0.0	3.6	3.1	0.0	3.6
2 depósitos alúvio-deltaicos	1.3	2.5	93.8	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3
3 água lagunar	13.9	0.0	0.0	86.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 sombra	8.1	0.0	0.0	0.0	90.4	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
5 rocha aflorante + elúvio	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	80.4	12.5	0.0	0.0	0.0
6 depósitos de colúvio	2.7	5.3	5.3	0.0	0.0	2.7	84.0	0.0	0.0	0.0
7 água fluvial	1.6	12.5	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	84.4	0.0	0.0
8 depósitos de elúvio	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.9	0.0
9 áreas alteradas	4.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	90.6

desvio médio: **86.99** - abstenção média: **6.21** - confusão média: **6.80**

O desvio médio, ou seja, a porcentagem de pontos corretamente classificados em cada uma das classes, foi de 86,99 %; a abstenção média, ou a porcentagem de pontos de cada classe não classificados foi de 6,21 %; e a confusão média, que retrata a porcentagem de pontos de cada classe classificados em outras classes, foi de 6,80 %.

A Figura 14 exhibe a classificação da imagem para os tipos litológicos e os tipos de solos encontrados no Município de Três Cachoeiras.

Figura 14 - Classificação "MAXVER" para Rochas/Solos



b) Cobertura/uso do solo

Na classificação para cobertura/uso do solo definiram-se as seguintes classes:

- mata nativa;
- campo;
- culturas temporárias
- reflorestamento/cultura de banana;
- áreas alagadas;
- áreas alteradas;
- água fluvial;
- água lagunar;
- sombra.

A **mata nativa** confirma a presença na imagem, localizada nas porções mais altas e mais íngremes do terreno, havendo nitidez quanto à separabilidade desta classe pelo método utilizado, no qual deslocou apenas menos de 0,5 % na classe reflorestamento/cultura de banana. Parte foi confundida com áreas alteradas, água fluvial e sombra.

Os campos, resultantes do desmatamento, foram amostrados nos topos das elevações e encostas declivosas, sendo que nestes locais a classificação incluiu áreas de cultivo de banana e outras culturas de encosta. Por isso, optou-se por uma classe contendo estes dois alvos, **campo**, tendo sido pouco confundida com culturas temporárias em 0,5 %.

As **culturas temporárias** foram amostradas nas áreas da planície lagunar, sendo um pouco confundidas no processamento com áreas alteradas ou degradadas pela ação antrópica (3,3 %), talvez porque algumas estivessem com solo exposto no momento da passagem do satélite.

Para o alvo reflorestamento, houve amostragens em locais bem conhecidos, no entanto a classificação incidiu também sobre culturas de banana, estabelecendo-se a classe **reflorestamento/banana**, que mostra na matriz de classificação pouco confundida com a mata nativa em 1,6 %.

A classe **áreas alagadas** foi amostrada sobre as planícies alúvio-deltaicas, classificando áreas menores nas margens do rio Cardoso e da planície lagunar, e por isso sendo confundida com a classe áreas alteradas (1,4 %).

Foram adquiridas amostras significativas das áreas urbanas, solo exposto, extrações minerais, estradas e áreas degradadas em geral, formando-se a classe **áreas alteradas**. A

classificação confundiu aquelas áreas com agriculturas temporárias pelas razões expostas anteriormente. Também houve confusão tolerada com áreas alagadas em 1,2 %.

Para a classe água fluvial adquiriram-se amostras na desembocadura dos rios na Lagoa Itapeva, o que possibilitou, além de distinguir os rios, a classificação de águas da margem lagunar, mostrando também outras zonas mais rasas no interior daquele corpo lagunar. Confundi-se em pequenas porcentagens com áreas alagadas.

Por outro lado, amostras foram coletadas com sucesso para compor a classe água lagunar, devido à ótima distinção daqueles alvos na imagem utilizada no trabalho.

A classe sombra foi estabelecida da mesma forma que na classificação para rochas/solos, com impedimentos para distinguir alvos dentro da área encoberta.

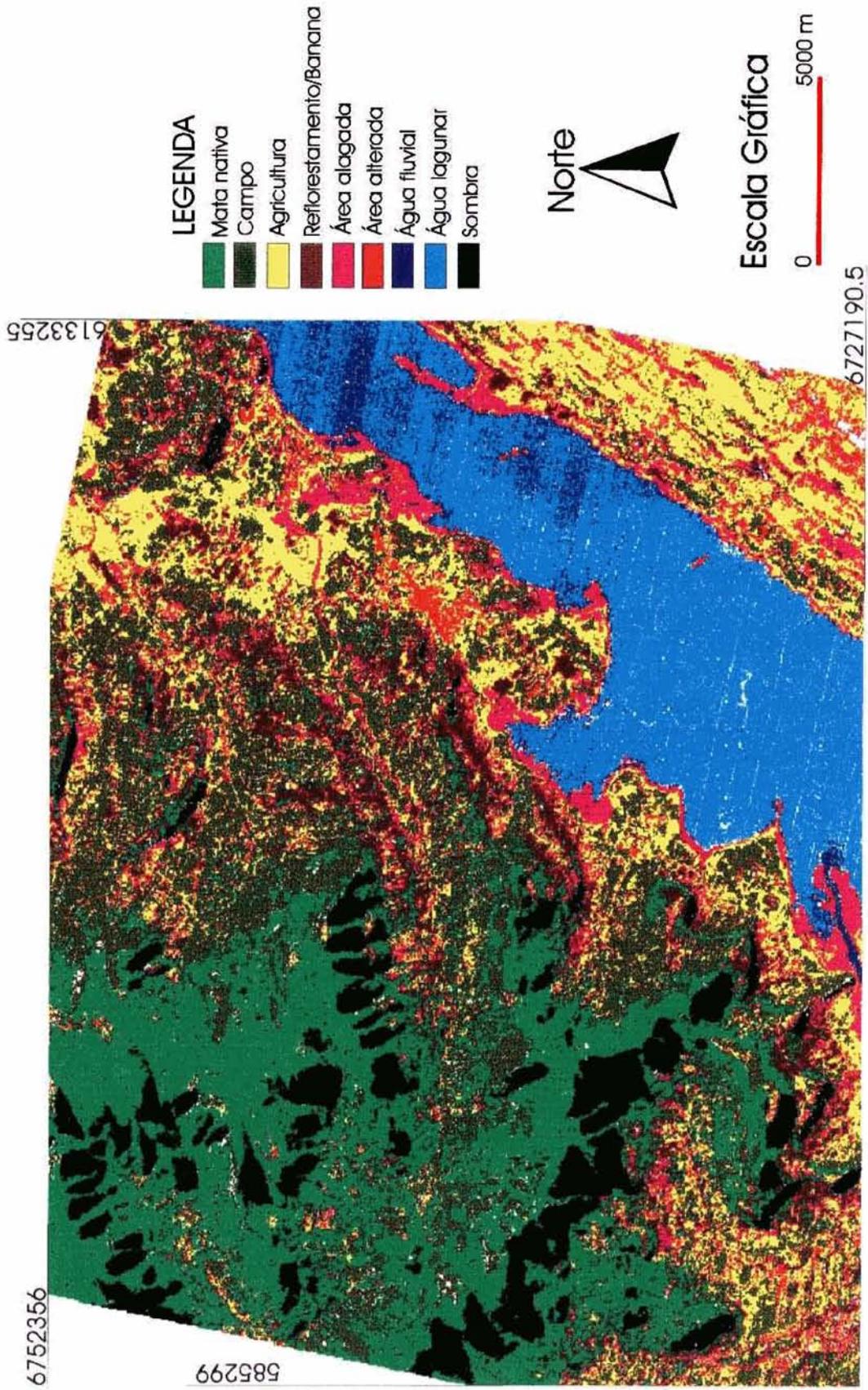
A Figura 15 mostra a classificação da imagem da região de Três Cachoeiras para coberturas/uso do solo. A matriz de classificação é mostrada na Tabela 13.

Tabela 13 - Matriz de classificação para cobertura/uso do solo

CLASSES	Não Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 mata nativa	9.2	90.4	0.0	0.0	0.4	0.0	3.6	3.1	0.0	3.6
2 campo/banana	5.0	0.0	94.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 culturas temporárias	1.9	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0
4 reflorestam./banana	3.2	1.6	0.0	0.0	95.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 áreas alagadas	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	94.3	1.4	0.0	0.0	0.0
6 áreas alteradas	10.8	0.0	0.0	8.4	0.0	1.2	79.5	0.0	0.0	0.0
7 água fluvial	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	89.6	0.0	0.0
8 água lagunar	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.2	0.0
9 sombra	5.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6

desvio médio: **92.30** - abstenção média: **5.81** - confusão média: **1.89**

Figura 15 - Classificação "MAXVER" para Cobertura/Use do Solo



4.4. Geoprocessamento

4.4.1. Produtos Preliminares

Os produtos preliminares a seguir apresentados se referem aos dados extraídos da carta planialtimétrica, dados obtidos por fotointerpretação e produtos fornecidos pelo tratamento da imagem de satélite.

A partir do PI limite da área estudada, obteve-se o total de terra no município de Três Cachoeiras, que resultou numa área de 130.744.800 metros quadrados, ou 13.074,48 hectares. OS PIs limite da área estudada e estrutura viária são apresentados no Anexo 7.

a) Carta de declividades

Por meio da digitalização de curvas de nível (Anexo 8), produziu-se o modelo numérico do terreno (Anexo 9), o qual gerou, por sua vez, a carta de declividades (Figura 16), onde foram previamente estabelecidas as classes de declividade.

A Tabela 14 abaixo mostra distribuição das classes de declividade criadas para este estudo e sua correspondente área classificada.

Tabela 14 - Distribuição das classes do PI Declividade

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
0 - 2%	28255500	21,73
2 - 5%	15904800	12,23
5 - 12%	33156000	25,55
12 - 30%	40355100	31,04
30 - 45%	11304900	8,69
> 45%	1045800	0,80
Total	130022100	100,04

Conforme a Tabela 14, observa-se por meio da Figura 16, uma relação entre os aspectos geológico/geotécnicos e a geomorfologia da área com a declividade dos terrenos:

- a classe 0 - 2% com 21,73 %, produzida pelas planícies e terraços lagunares;
- a classe 2 - 5% relacionando-se à declividade dos talvegues dos rios maiores e o restante sendo provavelmente devido às diferenças de cota entre os terraços e planícies lagunares;

- a classe 5 - 12% bastante presente com 25,55 %, sendo as rupturas de declives dadas pelos terraços fluviais, pelos depósitos de encosta da zona dos espigões e dos morros testemunho;

- a classe 12 - 30% tendo maior porcentagem em área (31,04 %), fornecida predominantemente pelas zonas de depósitos coluvionares da zona escarpada;

- a classe 30 - 45% ocorrendo no topo superior das encostas da zona escarpada, sendo esporádica no topo dos morros testemunho;

- a classe > 45% restringe-se a porções do Morro do Capitão e locais mais à montante na bacia do arroio Chimarrão, ocorrendo com menos de 1%.

b) Limite de reservas ecológicas

O PI limite de reservas ecológicas pode ser visto na Figura 17, tendo-se a seguinte distribuição das suas classes, conforme a Tabela 15:

Tabela 15 - Distribuição das classes do PI limite de reservas ecológicas

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
2/3 elevação	47896200	36,23
margem lagunar	4506300	3,41
margem rio	2804400	2,12
nascente	3295800	2,49
não enquadrada	73715400	55,75
Total	132218100	100,04

Estas áreas definem apenas limites estabelecidos pela legislação ambiental dentre aqueles que puderam ser fornecidos pela carta planialtimétrica e que, posteriormente, auxiliaram no estabelecimento de áreas de preservação ambiental, quando do cruzamento com a carta de declividades e com a carta de uso atual do solo, obtida pela classificação da imagem de satélite.

Figura 16 - Carta de Declividade

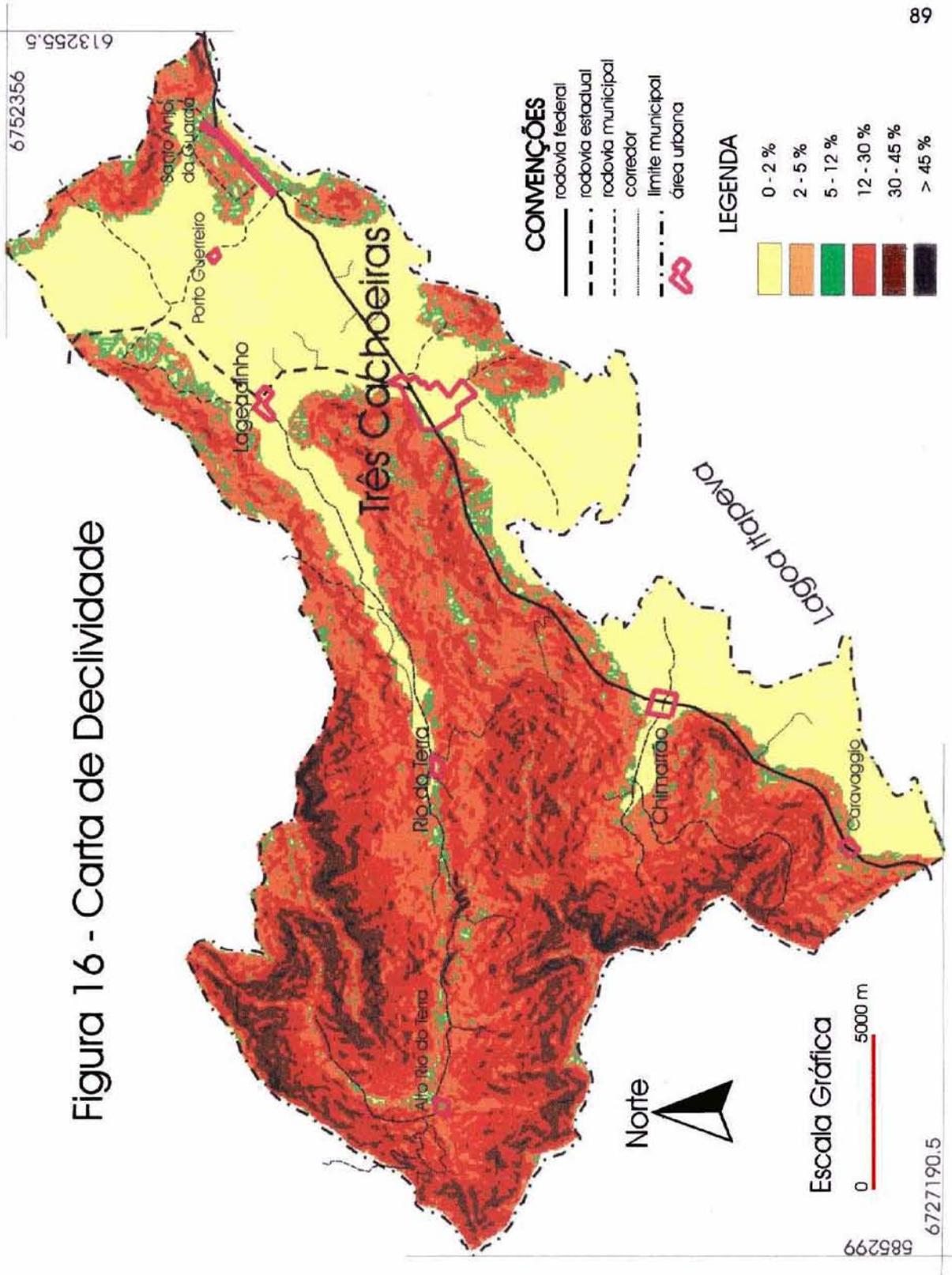
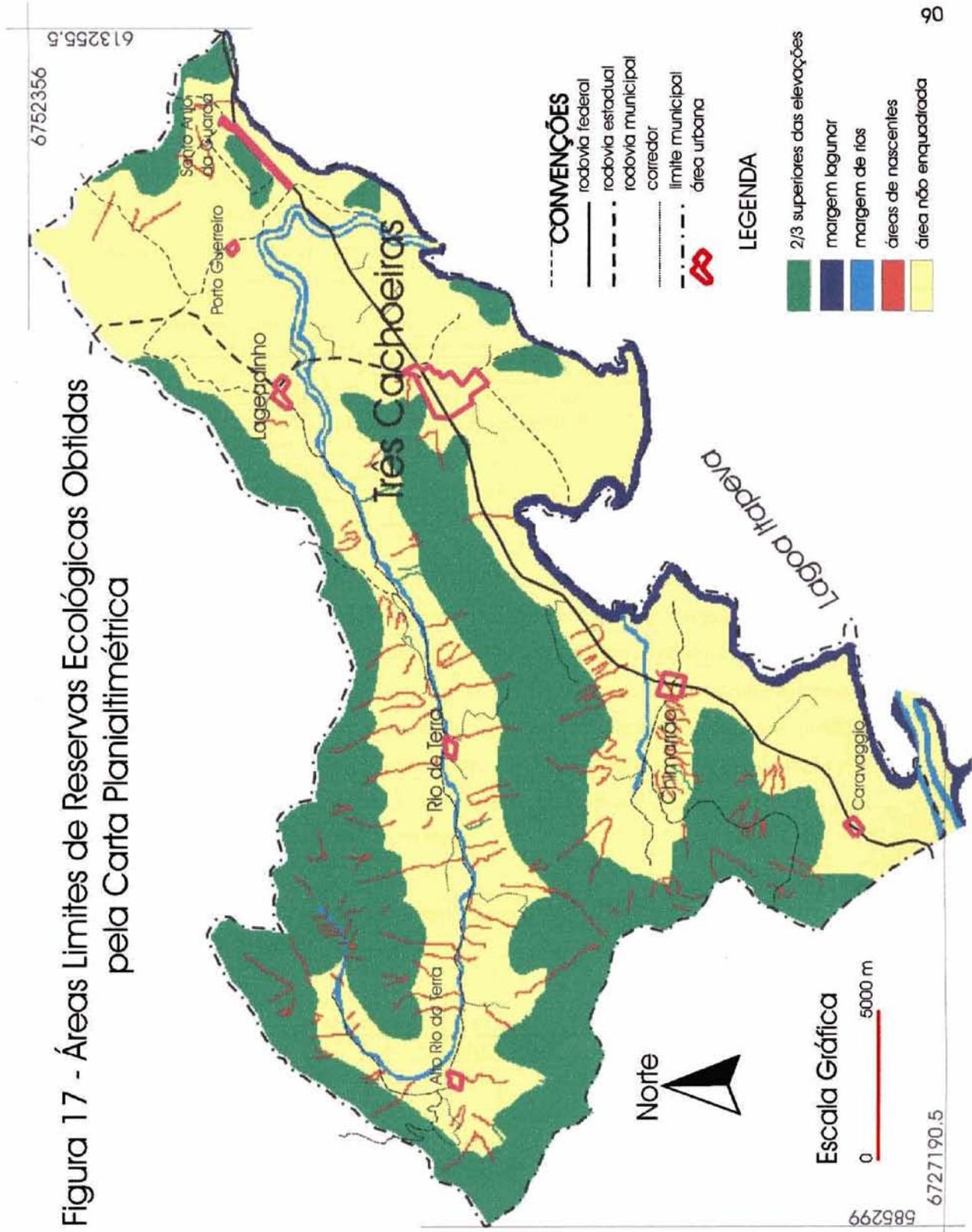


Figura 17 - Áreas Limites de Reservas Ecológicas Obtidas pela Carta Planialtimétrica



c) Rede de drenagem obtida por fotointerpretação

A partir da carta planialtimétrica, obtiveram-se drenagens de até terceira ordem, mas com o emprego de fotografia aérea, propiciou-se o aparecimento de drenagens de até quarta ordem, sendo que as drenagens de primeira ordem foram utilizadas para estabelecimento de áreas de preservação ambiental. Comparando-se resultados do processamento pela análise de lineamentos, destes dois PIs, tem-se o seguinte:

Tabela 16 - Comparação entre análises de lineamentos da Ordem de drenagem dos PIs obtidos pela carta planialtimétrica e por fotointerpretação.

Parâmetros	Plano De Informação	
	Ordem de Drenagem obtida da carta planialt.	Ordem de Drenagem obtida da foto aérea
total de lineamentos	56	317
comprimento total (m)	92974	193305
comprimento médio (m)	1660,26	609,793
azimute médio	5,11021	1,14122

Observa-se que o número de lineamentos é quase multiplicado por seis, sendo o comprimento total apenas duplicado, pois com a introdução da fotografia aérea, foram detectadas drenagens menores, de primeira ordem, as quais foram suprimidas na elaboração da carta planialtimétrica, o que confere com a diminuição do comprimento diretamente proporcional seu aumento em número de segmentos. As figuras relativas aos produtos obtidos por fotointerpretação, quais sejam, rede de drenagem, litologia, formações superficiais e morfoestruturas foram apresentadas no item 4.1 - Fotointerpretação, não havendo necessidade de repeti-las nesta seção.

d) Litologia obtida por fotointerpretação

O PI litologia obtida por fotointerpretação, tem suas classes distribuídas conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Distribuição das classes do PI Litologia obtida por fotointerpretação

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
rochas mesozóicas	44719200	34,20
depósitos de colúvio	40510800	30,97
depósitos de alúvio	4574700	3,50
depósitos terraço lagunar	13938300	10,66
depósitos planície lagunar	24840000	19,00
depósitos flúvio-deltaicos	2154600	1,65
Total	130737600	99,98

Conforme esta tabela, a classe com maior área pertence às rochas mesozóicas, tendo em vista que nesta incluem-se rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu.

Os depósitos de colúvio constituem quase um terço da área estudada, seguidos da área dos depósitos de planície lagunar e depósitos de terraço lagunar.

Os depósitos de alúvio e flúvio-deltaicos contém as menores áreas, com as respectivas porcentagens de 3,50 e 1,65 %.

e) Formações superficiais obtidas por fotointerpretação

O PI formações superficiais gerado por fotointerpretação, têm a distribuição de suas classes conforme a Tabela 18 a seguir:

Tabela 18 - Distribuição das classes do PI formações superficiais obtidas por fotointerpretação

CLASSE	AREA (m ²)	%
rocha aflorante	11104200	8,49
elúvio	5431500	4,15
elúvio+tálus+rocha	30986100	23,70
colúvio	37943100	29,03
alúvio	4509900	3,45
depósitos lagunares	38595600	29,53
depósitos deltaicos	2144700	1,64
Total	130715100	99,99

Os depósitos coluviais e os depósitos lagunares são as classes mais frequentes, alcançando quase 30 %, incluindo-se nestes últimos, as planícies e os terraços lagunares.

A classe elúvio+tálus+rocha possui 23,70 %, que é bastante grande devido à indivisibilidade destas formações na fotografia aérea, dos elúvios, depósitos de tálus e afloramentos rochosos.

As porcentagens médias são reveladas pelas classes rocha aflorante e elúvios, sendo que os alúvios e os depósitos deltaicos são as classes de menor porcentagem.

f) Morfoestruturas obtidas por fotointerpretação

As estruturas geológicas, foram obtidas por fotointerpretação, resultaram na seguinte análise de lineamentos apresentada na Tabela 19:

Tabela 19 - Comparação entre análises de lineamentos do PI morfoestruturas e do PI de rede de drenagem obtida por fotointerpretação.

Parâmetros	Plano De Informação	
	Rede de drenagem obtida da fotointerpretação	Morfoestruturas
total de lineamentos	317	217
comprimento total (m)	193305	124058
comprimento médio (m)	609,793	571,698
azimute médio	1,14122	177,373

O azimute médio apresentado pelos lineamentos correspondentes às morfoestruturas obtidas por fotointerpretação indica a direção Norte-Noroeste-Sudeste, podendo ser considerada Norte-Sul, tendendo levemente para NW-SE, o que não se afasta muito do azimute médio da rede de drenagem obtida por fotointerpretação, que mostra direção aproximada Norte-Sul.

O total de lineamentos diminuiu com relação à rede de drenagem, pois, apesar de grande parte dos rios coincidir com as morfoestruturas, outra parte fica de fora por pertencer a sistema de drenagem diferente. O comprimento total dos lineamentos também diminuiu com relação ao comprimento total das morfoestruturas pelo fato destas serem retilíneas, enquanto que os rios são curvos ou angulosos, o que alonga as distâncias das linhas.

g) Rochas/solos obtidos pela classificação da imagem

O PI rochas/solos, produzido por classificação de imagem e seu mascaramento com o plano de limite da área estudada, pode ser visto na Figura 18, tendo a seguinte distribuição de suas classes, conforme a Tabela 20 abaixo:

Tabela 20 - Distribuição das classes do PI rochas/solos obtidos pela classificação da imagem

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
depósitos flúvio-lagunares	33984900	26,30
depósitos alúvio-deltaicos	5149800	3,99
água lagunar	91800	0,07
sombra	7650900	5,92
rocha aflorante+elúvio	31289400	24,22
colúvio	42346800	32,77
elúvio	3867300	2,99
água fluvial	899100	0,70
área alterada	3923100	3,04
Total	129203100	100,00

Observam-se que predominam os depósitos de colúvio, em conformidade com o PI de formações superficiais fotointerpretadas, seguidos pelos depósitos flúvio-lagunares, e rocha aflorante + elúvio, ocorrendo estes três em proporções mais ou menos equilibradas, sendo que os constituintes restantes não alcançaram 6,0 %, devido a problemas herdados da classificação da imagem, comentados no item 4.3.6 a).

A classe “água lagunar” tem pouca representatividade porque a zona da lagoa Itapeva foi excluída da área estudada por intermédio do mascaramento com o PI de limite da área estudada, sendo que os 0,07 % indicam locais em terra firme classificados como lagoa dentro do município.

A diferença existente entre a área total calculada pelo PI limite da área estudada e este plano é devida aos “pixels” da imagem não classificados.

A classe “sombra”, tem porcentagem significativa - 5,92 %, e ao supor que classes ficam ocultas no sombreamento original da imagem, pode-se esperar encontrar sob a mesma, as classes rocha aflorante | tálus e colúvio.

h) Carta de uso atual do solo

Esta carta, derivada da imagem classificada (cobertura/uso do solo obtida por classificação de imagens) pode ser vista na Figura 19, tendo a seguinte distribuição de classes, conforme a Tabela 21:

Tabela 21 - Distribuição das classes do PI Carta de Uso Atual do Solo

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
mata nativa	31352400	24,34
campo	35691300	27,71
agricultura	24956100	19,38
reflorestamento/banana	11376900	8,83
áreas inundáveis	14695200	11,41
áreas alteradas	2297700	1,78
água fluvial	313200	0,24
água lagunar	369900	0,29
sombra	7744500	6,01
Total	128797200	99,99

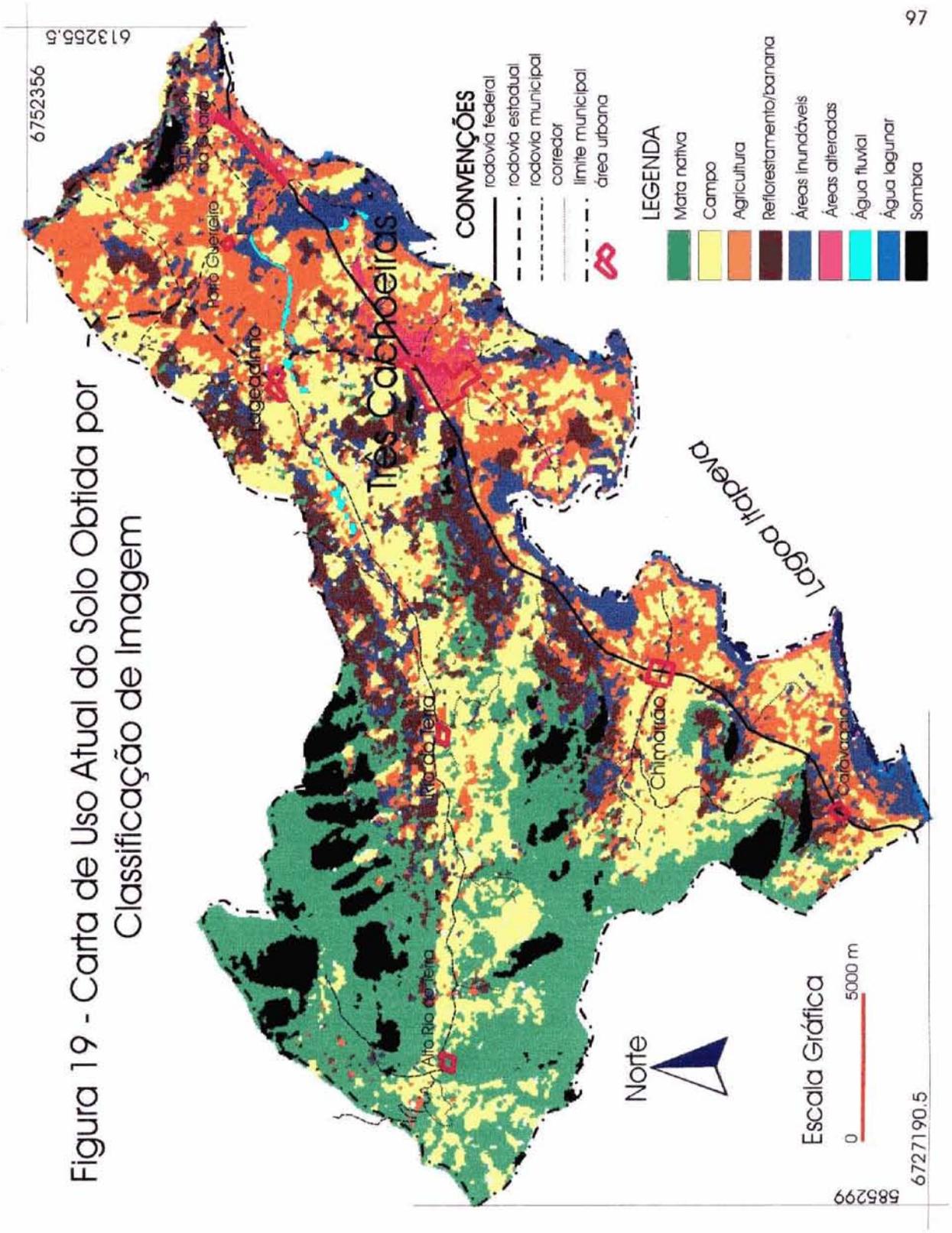
O resultado mostra que as áreas com mata nativa ocupam quase um quarto da área estudada, sendo superadas pela classe “campo”, seguidas pela zona agrícola que predomina na região de planície.

É também significativa a extensão de área alagada, com mais de 10,00 % e a cobertura com reflorestamento e banana (8,83 %), classes indivisas na classificação da imagem.

As áreas alteradas, identificadas pelo tratamento da imagem pelas estradas, áreas urbanizadas, pedreiras e solo exposto, contribuíram em menos de 2,0 % para o total do município.

A classe “água lagunar” tem baixa porcentagem, devido às mesmas razões citadas para o PI rochas/solos, ou seja, pelo fato de ter sido excluídas quando do mascaramento do plano, o qual descarta a porção lagunar do município estudado.

Figura 19 - Carta de Uso Atual do Solo Obtida por Classificação de Imagem



5.4.2. Produtos de cruzamentos iniciais

a) Carta Litológica

A carta litológica, mostrada na Figura 20, é o resultado da sobreposição do PI Litologia obtida pela fotointerpretação, e dos dados de campo, a qual apresenta a seguinte distribuição de classes:

Tabela 22 - Distribuição das classes do PI Carta Litológica

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
Formação Botucatu	2100600	1,59
F. S. Geral (rochas básicas)	23395500	17,78
F. S. Geral (rochas ácidas)	20630700	15,68
depósitos coluviais	39891600	30,31
depósitos aluviais	4694500	3,57
depósitos terraço lagunar	11766600	8,94
depósitos eólicos	1764900	1,34
depósitos planície lagunar	24771600	18,83
depósitos flúvio-deltaicos	2559000	1,94
Total	131575000	99,98

Observa-se pela introdução de dados de campo, que foram confirmadas unidades litoestratigráficas, como a Formação Botucatu e Formação Serra Geral, dividida em duas unidades distintas, conforme a variação da rocha vulânica, unidades estas que antes estavam incluídas na classe “rochas mesozóicas”.

Além do mais, pelo acréscimo de informações obtidas em campo, pode-se detectar os depósitos de areias eólicas, o que é confirmado por dados anteriores existentes para a área, contando no “Mapa Geológico da Folha de Três Cachoeiras e Torres” (Horn F⁰. et alli, 1984).

b) Carta de formações superficiais

Este produto gerou-se pelo cruzamento dos seguintes PIs:

- formações superficiais fotointerpretadas;
- rochas/solos classificadas das imagens de satélite.

O resultado produziu um PI, que é visto na Figura 21, tendo suas classes estabelecidas de forma semelhante àquelas dos PIs originais, as quais são distribuídas conforme Tabela 23. Neste produto, observa-se que o resultado total do cruzamento fornece

uma área um pouco menor que a área estudada, restando 6,13 % pertencendo a nenhuma classe. Isto se deve ao fato de alguns pixels da imagem não terem sido classificados na geração do PI rochas/solos.

Tabela 23 - Distribuição das classes do PI Carta de formações superficiais

CLASSE	ÁREA (m ²)	% cruzamento	% total
depósitos lagunares	35548200	28,96	27,19
depósitos deltaicos	5149800	4,20	3,94
rocha aflorante	11070900	9,02	8,47
depósitos de colúvio	21739500	17,71	16,63
depósitos de elúvio	7281000	5,93	5,57
elúvio+tálus+rocha	37608300	30,64	28,76
alúvio	4329900	3,53	3,31
Total cruzamento	122727600	99,99	93,87 (-6,13)
Total geral *	130744800		100,00

* área calculada a partir do PI limite de área estudada

Em comparação com os PIs originais, observam-se os seguintes aspectos:

- a classe “depósitos lagunares” do PI em foco permaneceu mais ou menos estável em área;
- as classes “rocha aflorante” e “alúvio” permaneceram quase com as mesmas áreas porque foram apenas sobrepostas à imagem classificada, sendo este um artifício utilizado, visto que não foram separadas na classificação;
- os “depósitos deltaicos” apresentaram mais que o dobro da área, devido ao processo de classificação da imagem, que forneceu maior abrangência a esta classe;
- a classe “elúvio”, que diminuiu da fotointerpretação para a imagem classificada, quando cruzada, duplicou em área;
- a classe “colúvio” diminuiu consideravelmente sua área porque, no cruzamento, foram corrigidas áreas mal classificadas como depósitos de colúvio em zonas dos depósitos lagunares, ao mesmo tempo que em relação à classificação, áreas coluvionares foram interpretadas como a classe elúvio+tálus+rocha;
- a classe “elúvio+tálus+rocha” ganha um aumento expressivo devido à incorporação de parte da classe colúvio da foto para a classe rocha aflorante+elúvio na imagem classificada e após, devido à supressão das áreas de sombra, quando do cruzamento com os dados de fotointerpretação, onde não existiram impedimentos de sombreamento.

Figura 20 - Carta Litológica

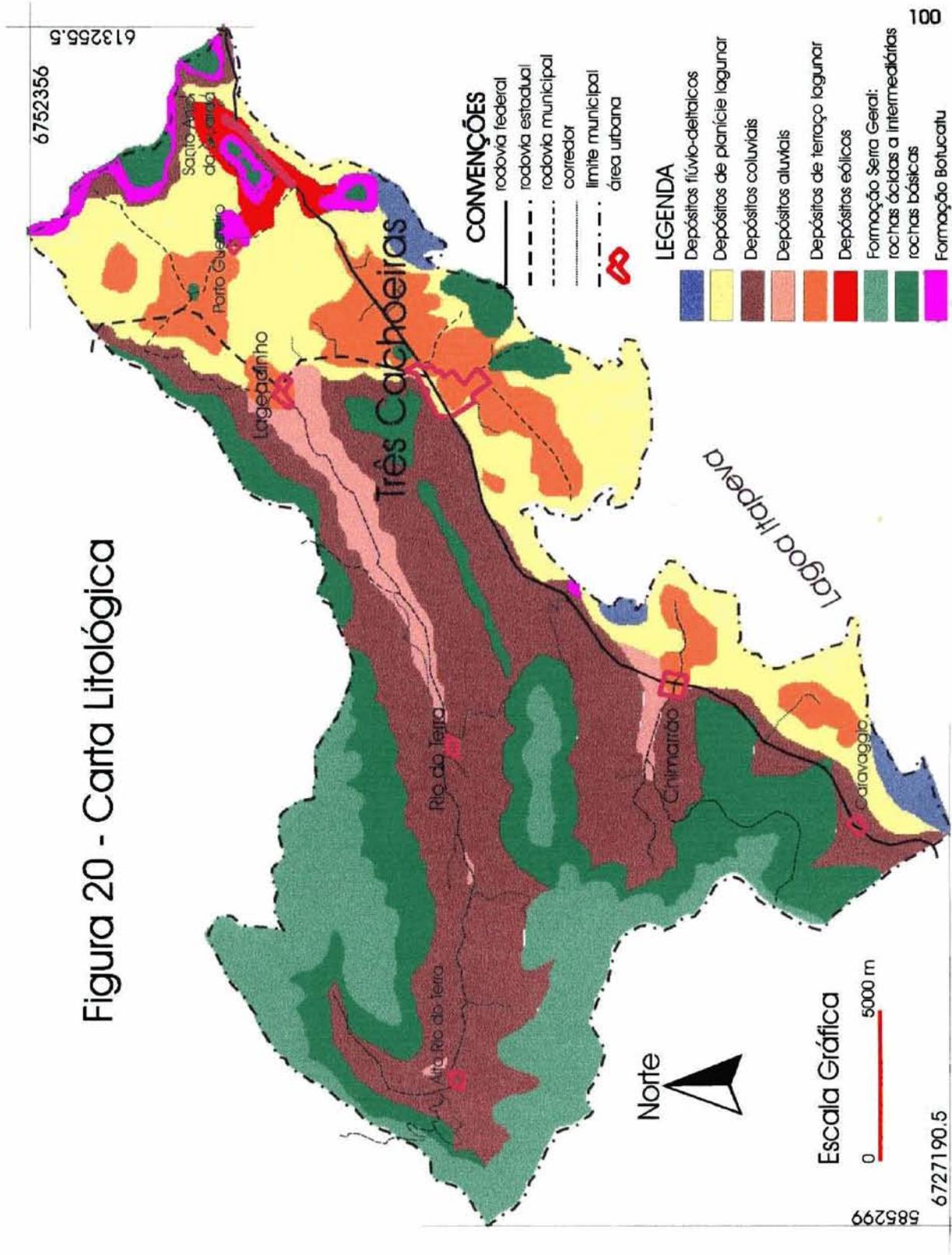
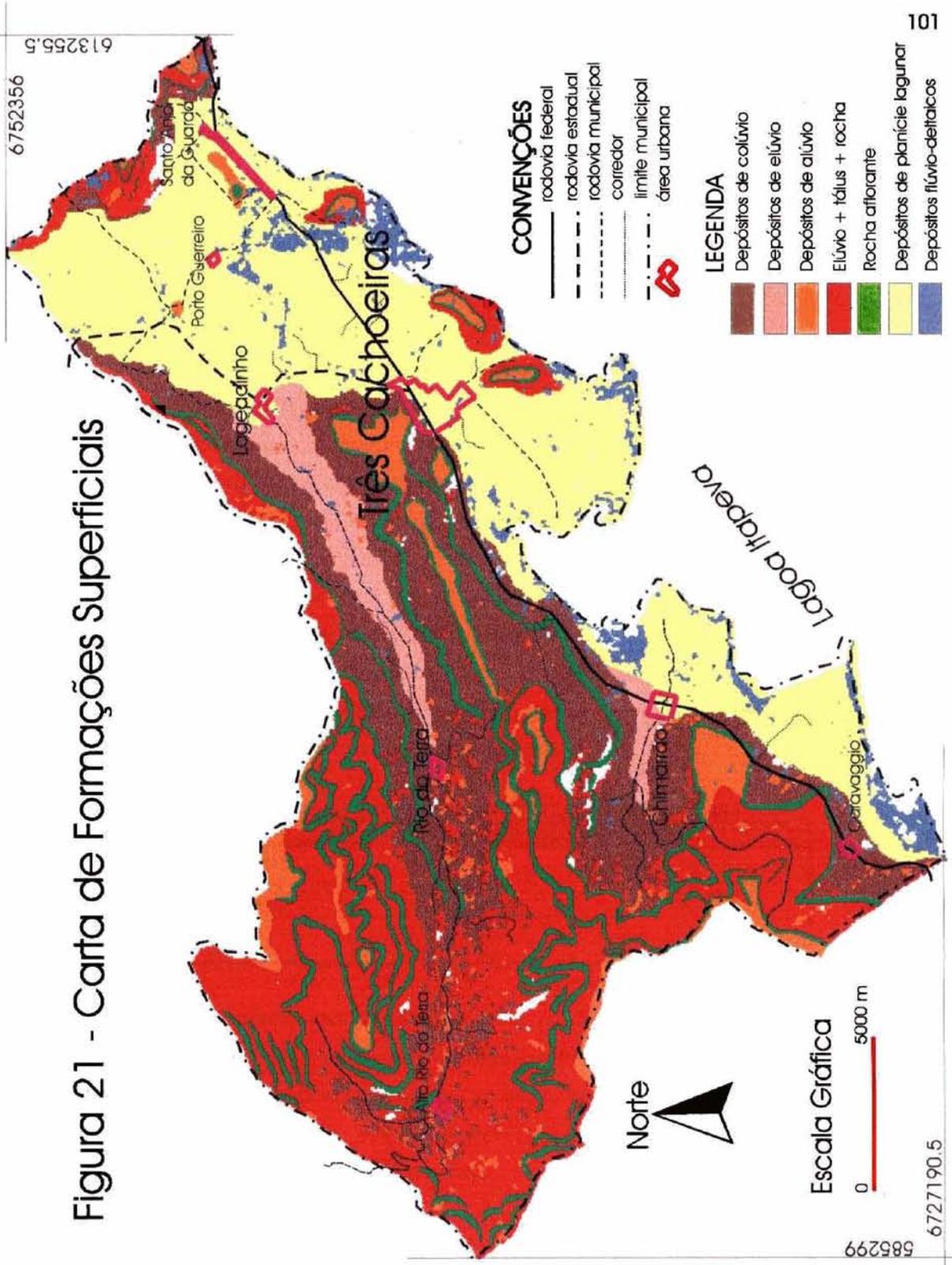


Figura 21 - Carta de Formações Superficiais



c) Carta hidrogeológica

Este plano formulou-se em função das características de cada tipo litológico e pelo seu suposto potencial aquífero, sendo que seu produto resultou do cruzamento dos seguintes planos de informação:

- carta litológica;
- morfoestruturas.

A partir daí, geraram-se as novas classes, conforme a classificação tradicional de aquíferos, sendo as seguintes:

- aquífero granular, correspondendo aos arenitos da Formação Botucatu, sendo a melhor reserva de água subterrânea;
- aquífero fraturado, relativo às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, onde a água é encontrada nas fraturas abertas da rocha;
- aquífero costeiro, que se refere aos depósitos quaternários de origem lagunar, sobrepostos a antigos depósitos marinhos, podendo haver água nas camadas arenosas;
- aquíclode, que é o substrato não recomendável para captação de água subterrânea, devido à baixa transmissividade pela permeabilidade nula ou quase nula, por se tratar de materiais argilosos dos depósitos coluviais.

O resultado espacial e a distribuição em área pode ser observado na Figura 22, sendo que as porcentagens em área são mostradas na tabela abaixo:

Tabela 24 - Distribuição das classes do PI Carta Hidrogeológica

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
aquífero granular	2100600	1,60
aquífero fraturado	44026200	33,54
aquífero costeiro	45246600	34,47
aquíclode	39891600	30,39
Total	131265000	100,00

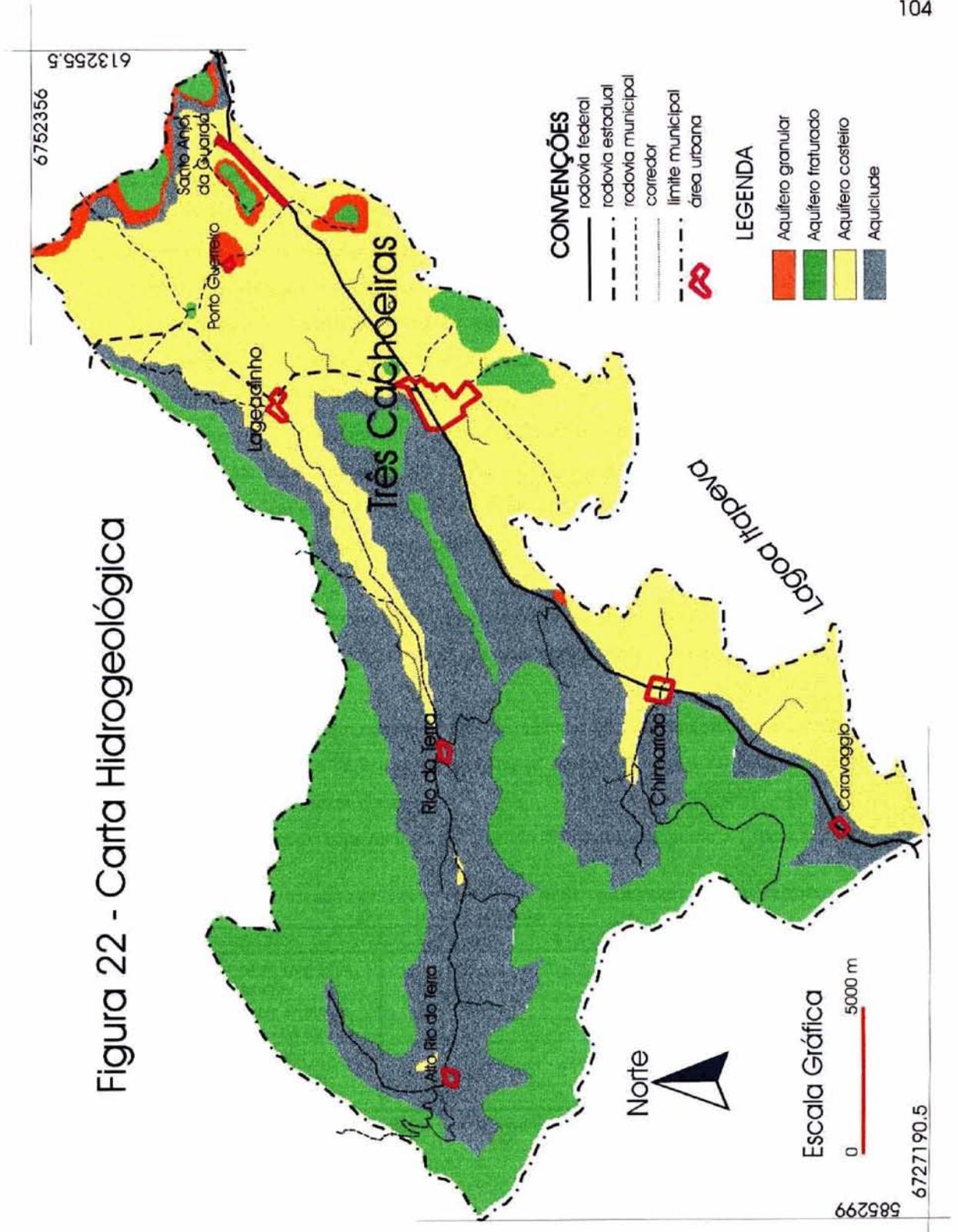
O aquífero granular, correspondente ao arenito da Formação Botucatu, ocupa uma área inferior a 2,0 %, sendo considerado o aquífero que fornece água de melhor qualidade. Mesmo que sua área superficial seja pequena, o arenito pode ser alcançado por meio da execução de poços profundos, pois as vazões e a qualidade da água justificam o empreendimento para o abastecimento em geral.

O aquífero fraturado, que pode também fornecer água de boa qualidade, abrange um terço da área estudada, porém o condicionamento é dado quase sempre em função da ocorrência de fraturas abertas, as quais são planos pelos quais percola a água subterrânea.

O aquífero costeiro também constitui pouco mais de um terço de área superficial da porção terrestre do município de Três Cachoeiras, porém, a água captada é quase sempre salobra, devido à existência de depósitos marinhos na base dos depósitos lagunares, propiciando a contaminação ao longo do tempo das camadas superiores, ou mesmo pelo bombeamento em poços profundos.

Quase um terço do restante da área é caracterizado por conter um subsolo não recomendável para captação de água subterrânea, pois o subsolo é visto como um aquíclode, ou seja, formado por camadas argilosas coluvionares que não permitem o movimento da água no subsolo.

Figura 22 - Carta Hidrogeológica



4.4.3. Produtos de cruzamentos finais

a) Carta de recomendação à extração de material de construção

Este plano de informação foi produzido em função de dados sobre o tipo de rochas, bem como de seu material de alteração e assim obtido pelo cruzamento da carta litológica e da carta de formações superficiais. Baseando-se em critérios como manto de alteração frente afloramentos de rocha, geraram-se as seguintes classes, em conformidade com a demanda de material no mercado da construção civil para região:

- arenito ou pedra-grés, pertencentes à Formação Botucatu, utilizados para construir paredes, para revestir calçadas e pisos externos;

- basaltos e rochas vulcânicas em geral, pertencentes à Formação Serra Geral, usadas no revestimento de ruas e de calçadas, como rocha ornamental em revestimentos, pisos externos e internos, bem como na produção de brita;

- argilas e solos argilosos dos depósitos colúviais, para emprego como material impermeabilizante e material para aterro;

- cascalhos e areias grosseiras, encontrados nos leitos atuais dos rios, barras e pontais, e leitos abandonados em terraços fluviais, que são usados para revestimento de estradas vicinais;

- areias finas ferruginosas dos depósitos eólicos, que são utilizadas atualmente no corpo de aterros de estradas e em aterros de terrenos em geral para construção predial e EM outras obras.

Estes materiais são vistos na Figura 23, sendo distribuídos segundo a Tabela 25:

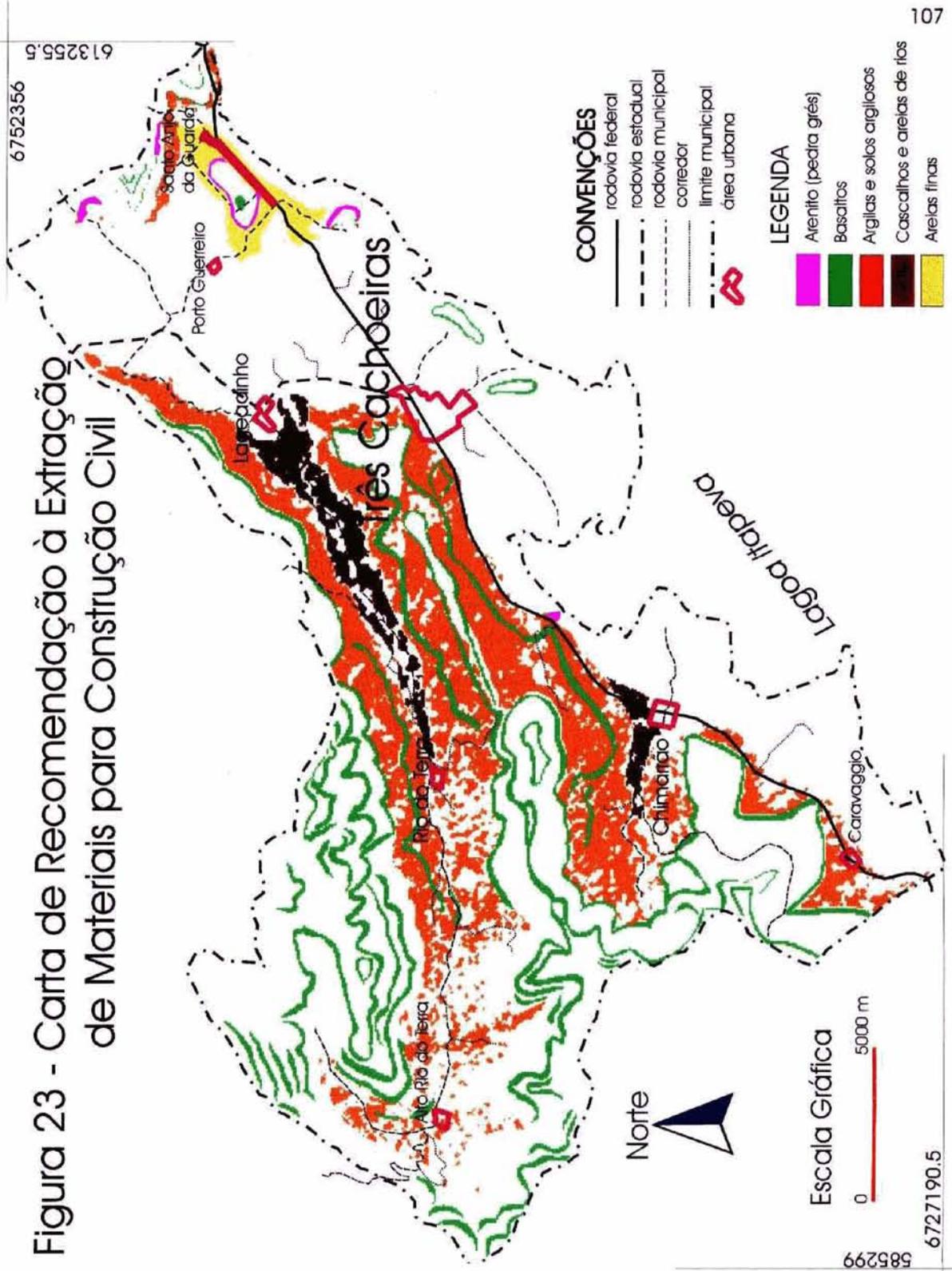
Tabela 25 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à extração de Materiais para Construção.

CLASSE	ÁREA (m ²)	% cruzamento	% total
arenitos ou pedras-grés	72900	0,21	0,06
basaltos	10998000	32,12	8,41
argilas e solos argilosos	21079800	61,57	16,12
cascalhos e areias de rios	323370	0,94	0,25
areias finas	1764900	5,15	1,35
Total cruzamento	34238970	99,00	26,19 (-73,81)
Total geral *	130744800		100,00

* área calculada a partir do PI limite de área estudada

A porcentagem total de 26,19 % indica as zonas propícias para procura de materiais de construção, sendo que entre esses, o maior valor em área é dado pela classe “argilas e solos argilosos”, seguida dos “basaltos” e das “areias finas”. Com isso, é possível balizar uma prospecção de materiais para construção civil.

Figura 23 - Carta de Recomendação à Extração de Materiais para Construção Civil



b) Carta de Recomendação Geotécnica à Agricultura

Este produto surge de uma necessidade de levantar, para cobertura/uso do solo agrícola, problemas de estabilidade dos terrenos que podem ser originados pelo manejo inadequado, sendo por isso escolhidos os planos de informação anteriormente obtidos que melhor abrangem o enfoque puramente geotécnico, que são os seguintes:

- carta de declividades;
- carta de formações superficiais.

Assim, foram estabelecidas as seguintes classes:

- “recomendável a culturas temporárias ou cíclicas”, pois a baixa declividade dos terrenos permite o manejo intensificado e periódico da superfície do terreno, sem ocasionar problemas geotécnicos imediatos, como erosão;

- “recomendável a culturas permanentes”, como reflorestamentos com eucalipto, plantio de banana, pois a declividade até 30% sobre leques aluviais, colúvios e depósitos de encosta requer a fixação de raízes para que sejam evitados problemas geotécnicos como escorregamento, deslizamentos, quedas e rolamento de blocos;

- “desfavorável à agricultura”, porque sobre terrenos com declividades acima de 30% aliadas às coberturas coluviais e de talus, bem como a grande quantidade de blocos de rocha podem ser gerados movimentos de massa catastróficos como deslizamentos, rolamentos de blocos, etc, intensificados pelas práticas agrícolas.

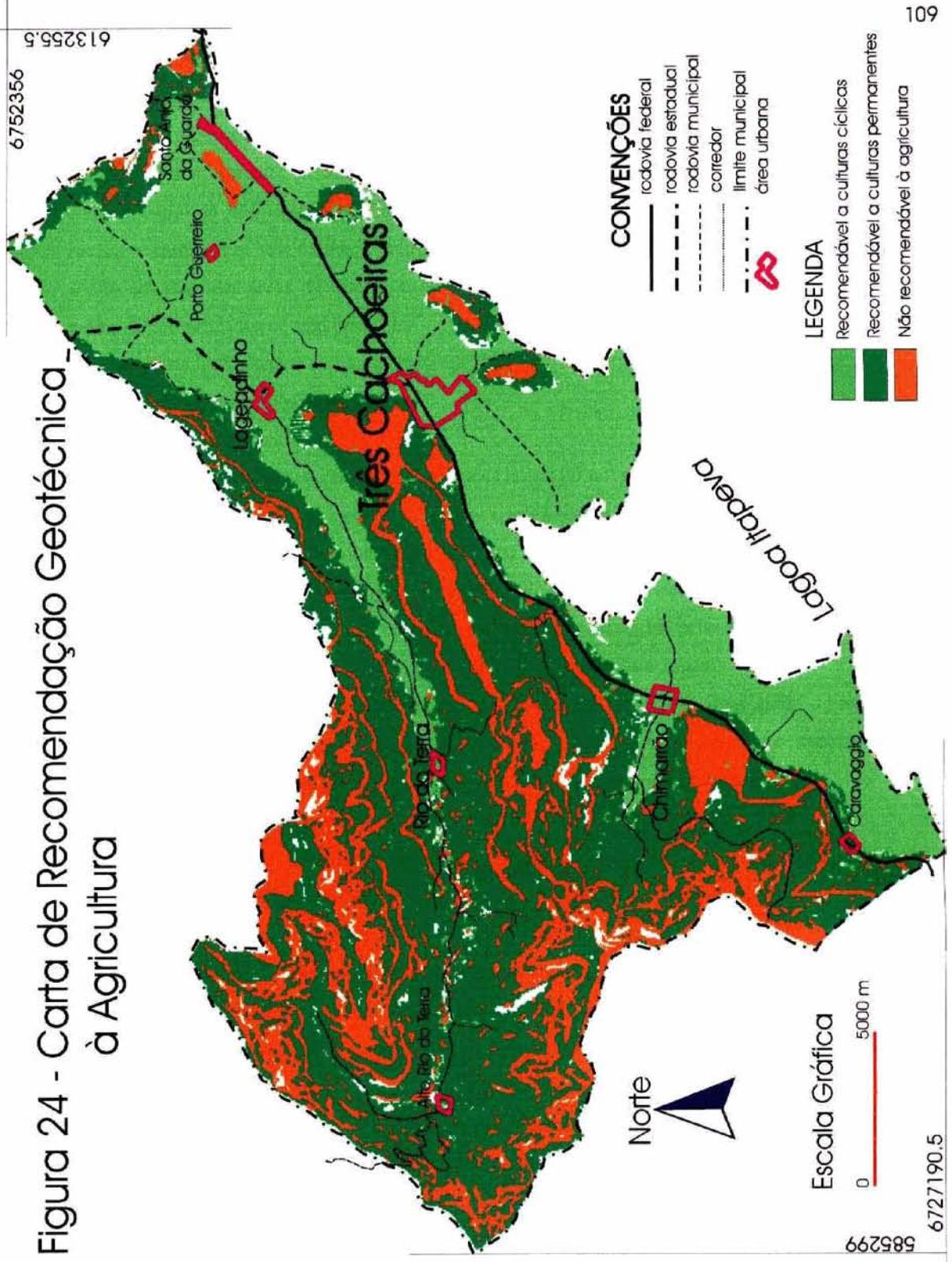
A distribuição destas classes pode ser vista na Figura 24, dando-se conforme a Tabela 26 abaixo:

Tabela 26 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação Geotécnica à agricultura.

CLASSE	AREA (m ²)	% cruzamento	% total
recomendável a culturas temporárias	44094600	35,54	33,73
recomendável a culturas permanentes	53478000	43,11	40,90
não recomendável à agricultura	26487900	21,35	20,26
total cruzamento	124060500	100,00	94,89 (-5,11)
Total geral *	130744800		100,00

* área calculada a partir do PI limite de área estudada

Figura 24 - Carta de Recomendação Geotécnica à Agricultura



c) Carta de recomendação à implantação de áreas de disposição de resíduos sólidos e loteamentos

Para a geração deste produto, levou-se em conta o grau de contaminação do subsolo em função dos efluentes gerados pela implantação de um sítio de disposição de resíduos sólidos, como de alto risco e por loteamentos, de médio risco, face às características das rochas e sedimentos, sua definição como aquífero. Em função da variação de declividade, foram consideradas áreas de maior ou menor risco para implantação de moradias. Sendo assim, foram cruzados os seguintes PIs:

- carta litológica;
- carta hidrogeológica;
- carta de declividades.

Com isso, estabeleceram-se as seguintes classes do novo plano de informação:

- “não recomendável a resíduos sólidos e loteamentos”, tendo em vista serem zonas alagadas permanentemente ou por longos períodos, contendo lençol freático aflorante e por aquelas que possuem aquíferos granulares e fraturados, havendo risco de contaminação por chorumes e fossas ou sumidouros, também as áreas caracterizadas pelas altas declividades que caracterizam áreas de risco para implantação de núcleos habitacionais;

- “desfavorável para resíduos sólidos e loteamentos”, pois são áreas ainda de risco pois os terrenos possuem altas declividades caracterizando áreas de risco para ocupação, e ainda aquelas onde existem aquíferos granulares e zonas aquíferas fraturadas passíveis de contaminação por chorumes e fossas ou sumidouros;

- “desfavorável para resíduos sólidos e indicado para loteamentos”, porque não convém assentar resíduos sólidos sobre aquíferos costeiros, pelo fato do lençol freático estar ainda próximo da superfície apesar do terreno seco, mas sendo um substrato bastante permeável, passível de contaminação por chorume, no entanto, por ser área plana ou com baixíssimas declividades e o terreno permanentemente seco, é indicado para assentamento de loteamentos, desde que sejam tomados cuidados para não contaminação do subsolo, por meio de saneamento básico;

- “favorável para resíduos sólidos e para loteamentos”, por ser uma zona considerada negativa para água subterrânea, em que não existem aquíferos mas aquícludes porque os solos argilosos são impermeáveis, e pelo fato de declividades médias a baixas nestes terrenos não constituírem áreas de risco para ocupação humana.

Estas mesmas classes são observadas na Figura 25, e sua distribuição conforme Tabela 27 a seguir:

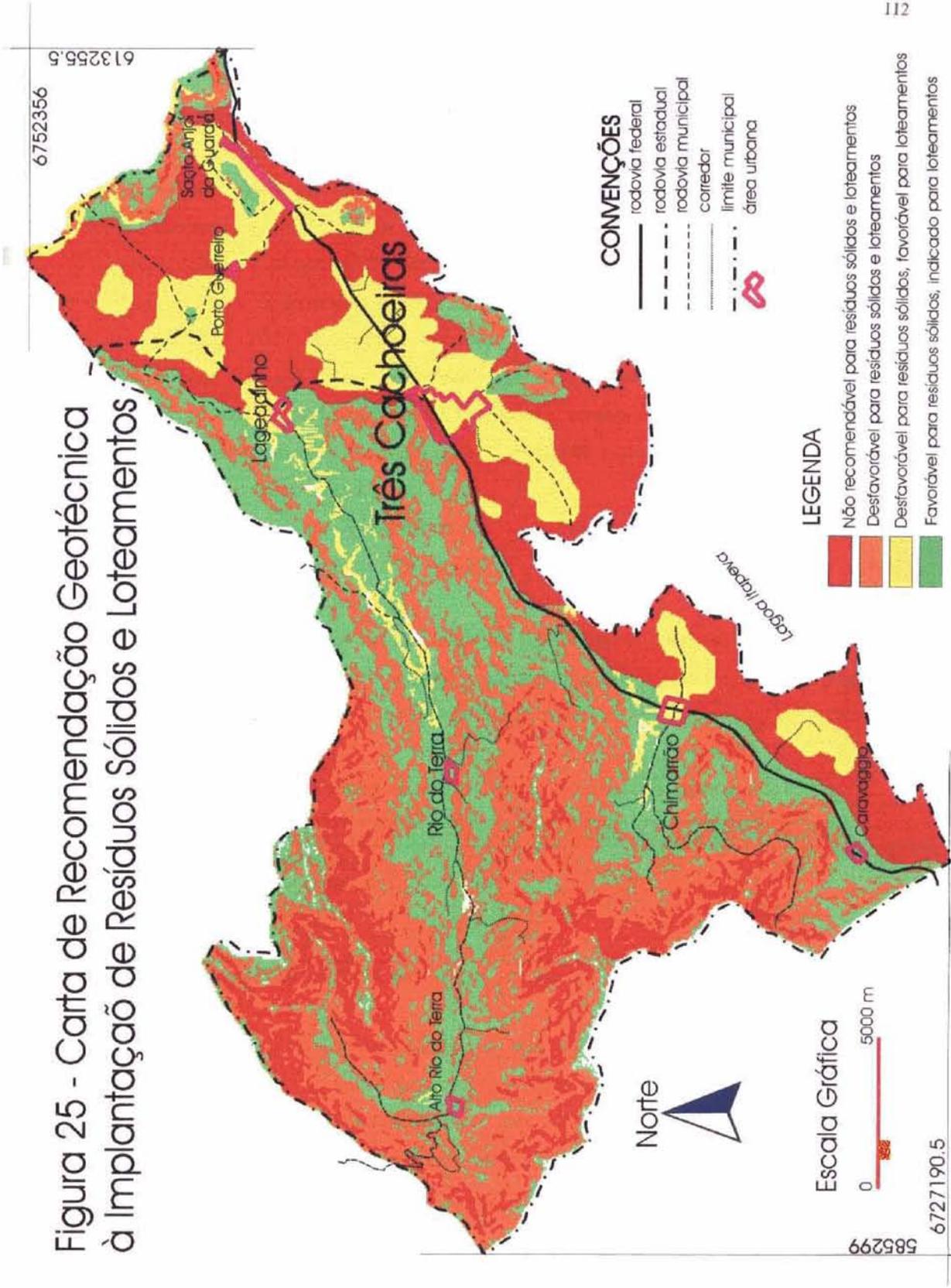
Tabela 27 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de Resíduos Sólidos e Loteamentos

CLASSE	ÁREA (m ²)	%
não recomendável para resíduos sólidos e loteamentos	38075400	29,30
desfavorável para resíduos sólidos e loteamentos	41154300	31,67
desfavorável para resíduos sólidos/indicado para loteamentos	16377300	12,60
favorável para resíduos sólidos e loteamentos	34335000	26,42
Total	129942000	99,99

Observa-se que o município dispõe de uma zona em torno de 26 % dentro da qual pode buscar assentar depósitos de resíduos sólidos, indicada pela ocorrência de materiais argilosos dos depósitos de colúvio, e por isso impermeáveis, dificultando a contaminação dos terrenos caso haja infiltração do descarte líquido dos depósitos de lixo (chorume).

Já a questão de loteamentos pode ser auxiliada pelas recomendações que permitem esse tipo de atividade numa área em torno de 38 % do município, referindo-se aos depósitos de colúvio a baixos declives, também indicados para a instalação de resíduos sólidos, pelos alúvios e pelas zonas dos depósitos de terraços lagunares, porque não oferecem risco para os assentamentos, embora o substrato seja bastante permeável, havendo risco de contaminação por fossas, o que pode ser resolvido com projetos simples de saneamento.

Figura 25 - Carta de Recomendação Geotécnica à Implantação de Resíduos Sólidos e Loteamentos



d) Carta de Recomendação à Implantação de Obras de Infra-estrutura

Consideram-se como obras de infraestrutura as barragens, estradas, dutovias, etc. Levou-se em conta que a implantação destas obras de porte significativo deve ser indicada pela variação dos declives, pelas condições de fundação do subsolo e pela capacidade de suporte dos terrenos. Características se, desfavoráveis, podem comprometer a vida útil das obras e de seu funcionamento. Em função disto, foi gerado o cruzamento dos PIs carta de declividades e carta de formações superficiais, sendo então estabelecidas as classes:

- “desfavorável à implantação das obras”, evitando-se áreas alagadas extremamente planas, pois na área estudada provavelmente são aquelas que possuem solos com baixa capacidade de suporte, desfavorável para fundações e sujeitas a subsidências, assim como áreas de declividades maiores que 12% com ocorrência de talus, pois caracterizam terrenos muito instáveis aos cortes e fundações;

- “implantar obras de infra-estrutura com ressalvas e cuidados geotécnicos”, principalmente em áreas com até 30% de declive, evitando-se os depósitos de talus, porque são instáveis aos cortes e escavações;

- “favorável à implantação de obras de infraestrutura”, por serem áreas bastante planas, que não estão sujeitas a alagamentos, como os terraços lagunares, os sopés de colúvios e os terraços fluviais com declives suaves.

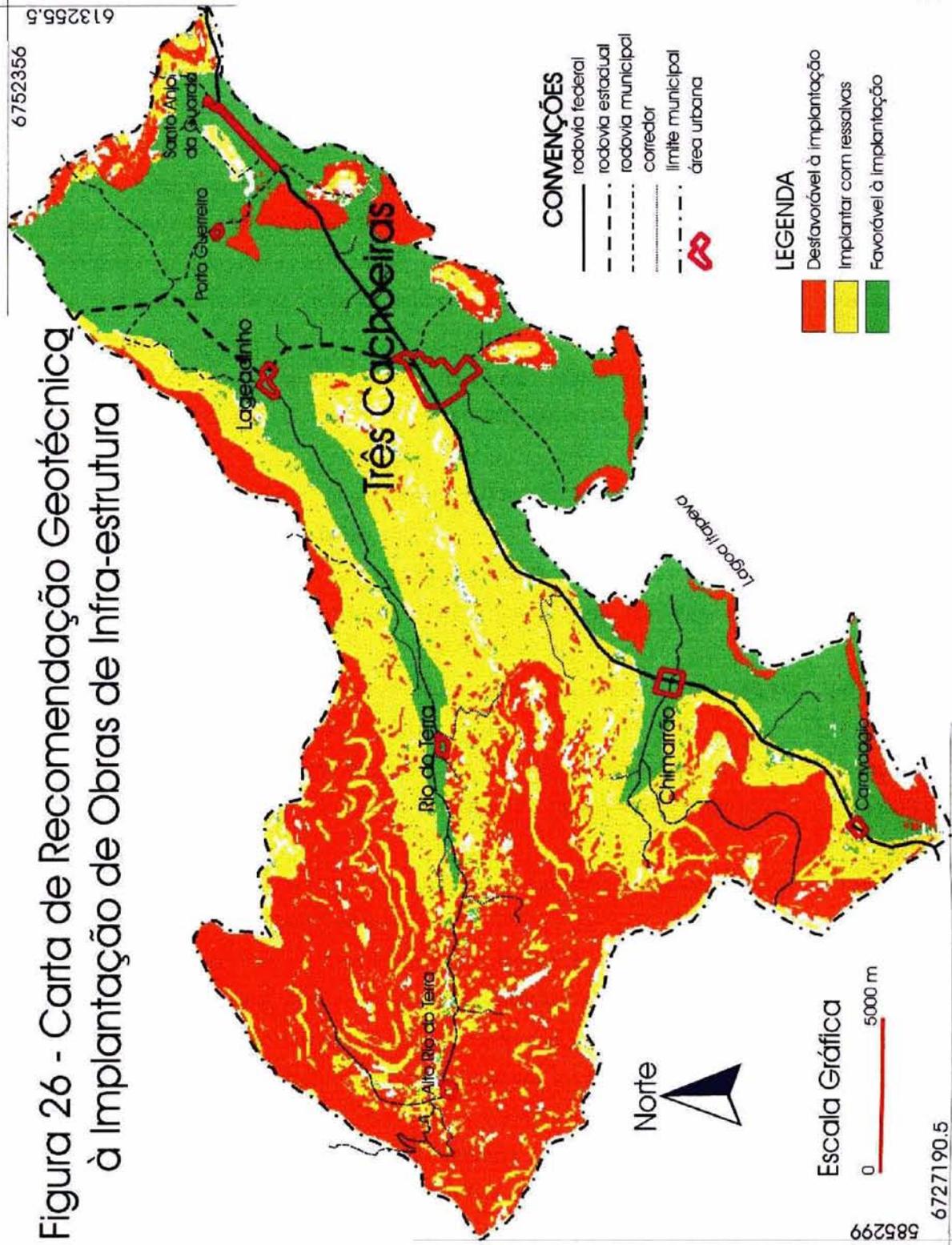
Tabela 28 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de Obras de Infra-estrutura

CLASSE	ÁREA (m ²)	% cruzamento	% total
desfavorável à implantação	43267500	37,37	33,09
implantar com ressalvas	36297900	31,35	27,76
favorável à implantação	36199800	31,27	27,69
total cruzamento	115765200	99,99	88,54 (-11,46)
Total geral *	130744800		100,00

* área calculada a partir do PI limite de área estudada

A zona desfavorável à implantação de obras de infraestrutura ocupa mais de um terço da área, sendo que as outras duas classes se equivalem, não atingindo cada qual um terço. Observa-se, na situação atual do município, que as obras de infraestrutura como estradas, áreas urbanas, localizam-se na sua maioria, sobre a zona favorável à implantação recomendada por este PI.

Figura 26 - Carta de Recomendação Geotécnica à Implantação de Obras de Infra-estrutura



e) Carta de Recomendação à Implantação de Áreas de preservação Ambiental e/ou Destinadas à Recuperação

Para este produto ser viabilizado, considerou-se as informações atuais da imagem de satélite, que indicou as áreas de mata nativa e zonas alagadas (banhados), as altas declividades dadas pela carta específica e outras áreas definidas como reservas ecológicas pela Resolução CONAMA nº 004 de 18.11.85. Assim, esta carta gerou-se por meio do cruzamento dos seguintes planos de informação: carta de uso atual do solo, carta de declividades e plano de limite de reservas ecológicas. Baseado nisso, produziram-se as classes abaixo citadas:

- “dois terços superiores com mata nativa”, relativos às porções mais elevadas da Serra do Retiro, Morro do Capitão, Serra do Chimarrão e aos morros testemunho à beira da lagoa Itapeva;

- “margem lagunar”, numa faixa de 100 metros de largura correspondente à beira da lagoa Itapeva dentro do município;

- “margem de rios”, com largura variável, dependendo das dimensões de cada rio, principalmente à beira dos rios do Terra e Cardoso, rio Três Forquilhas e do Arroio Chimarrão;

- “nascentes”, referindo-se às drenagens de primeira ordem, a maioria localizada nas porções elevadas do município;

- “declividades maiores que 45%”, concentradas na zona serrana de Três Cachoeiras, principalmente na Morro do Capitão, na Serra do Retiro, Serra do Chimarrão e nos topos dos morros testemunho;

- “áreas de banhado”, principalmente nas zonas de desembocadura dos cursos d’água na lagoa Itapevá e na planície de inundação do rio Cardoso.

Ao observar-se, na tabela abaixo, a distribuição em porcentagens das áreas de preservação ambiental, bem como das áreas destinadas à recuperação, constata-se que o município de Três Cachoeiras possui uma reserva de mata nativa inteiramente localizada dentro dos limites de preservação ambiental bastante significativa em relação a outras áreas do Estado e mesmo do país. Esta classe representa um precioso remanescente de “Mata Atlântica”, caracterizada pela “Floresta Ombrófila Densa” (IBGE, 1986), fazendo parte da porção rio-grandense desta reserva da biosfera dentro do município e da região costeira,

incluída no "Projeto Mata Atlântica". A Figura 27 mostra estas áreas, assim como a Tabela 29, a seguir, expõe a distribuição quantitativa de cada classe.

Tabela 29 - Distribuição das classes do PI Carta de Recomendação à Implantação de áreas de Preservação Ambiental e/ou Destinadas à Recuperação

CLASSE	ÁREA (m ²)	% cruzamento	% total
2/3 superiores com mata nativa	26439300	78,53	20,22
margem lagunar	35100	0,10	0,03
margem rios de 3 ^a e 4 ^a ordem	350100	1,04	0,27
nascentes drenagens de 1 ^a ordem	1539900	4,57	1,18
declividades > 45%	485100	1,44	0,37
banhados	4815900	14,30	3,68
total cruzamento	33665400	99,98	25,75
Total geral *	130744800		100,00

* área calculada a partir do PI limite de área estudada

Em termos geológico-geotécnicos, a presença desta reserva florestal nesta zona significa a manutenção das condições ambientais favoráveis para a estabilidade dos solos e rochas sobre altas declividades a mais de 45%, caracterizados por depósitos de encosta altamente frágeis, rochas fraturadas e alteradas, os quais estão sujeitos à erosão, movimentos de massa, como deslizamentos, escorregamentos amplamente observados ao longo da encosta serrana do litoral norte do Rio Grande do Sul.

No que se refere aos banhados, por serem ecossistemas bastante sensíveis, devem ser preservadas, para que espécies vegetais e animais, inclusive as migratórias, possam se desenvolver, sem que haja risco de extinção. Além do mais, a implantação de qualquer empreendimento nestas áreas requer altos custos, e o benefício não justifica o dano ambiental e, como visto anteriormente em termos geotécnicos, não é recomendável para implantação de loteamentos, depósitos de resíduos sólidos e obras de infraestrutura.

Quanto à agricultura, algumas áreas alagadas foram apontadas como áreas favoráveis a culturas temporárias mas, pelas razões expostas, deve ser descartada esta possibilidade, pois as consequências desta atividade numa área de banhado são também conhecidamente danosas, principalmente pela introdução de agrotóxicos e pelas modificações das propriedades do solo, entre outros problemas. As zonas à beira de rios e da lagoa Itapeva foram indicadas também para preservação e recuperação.

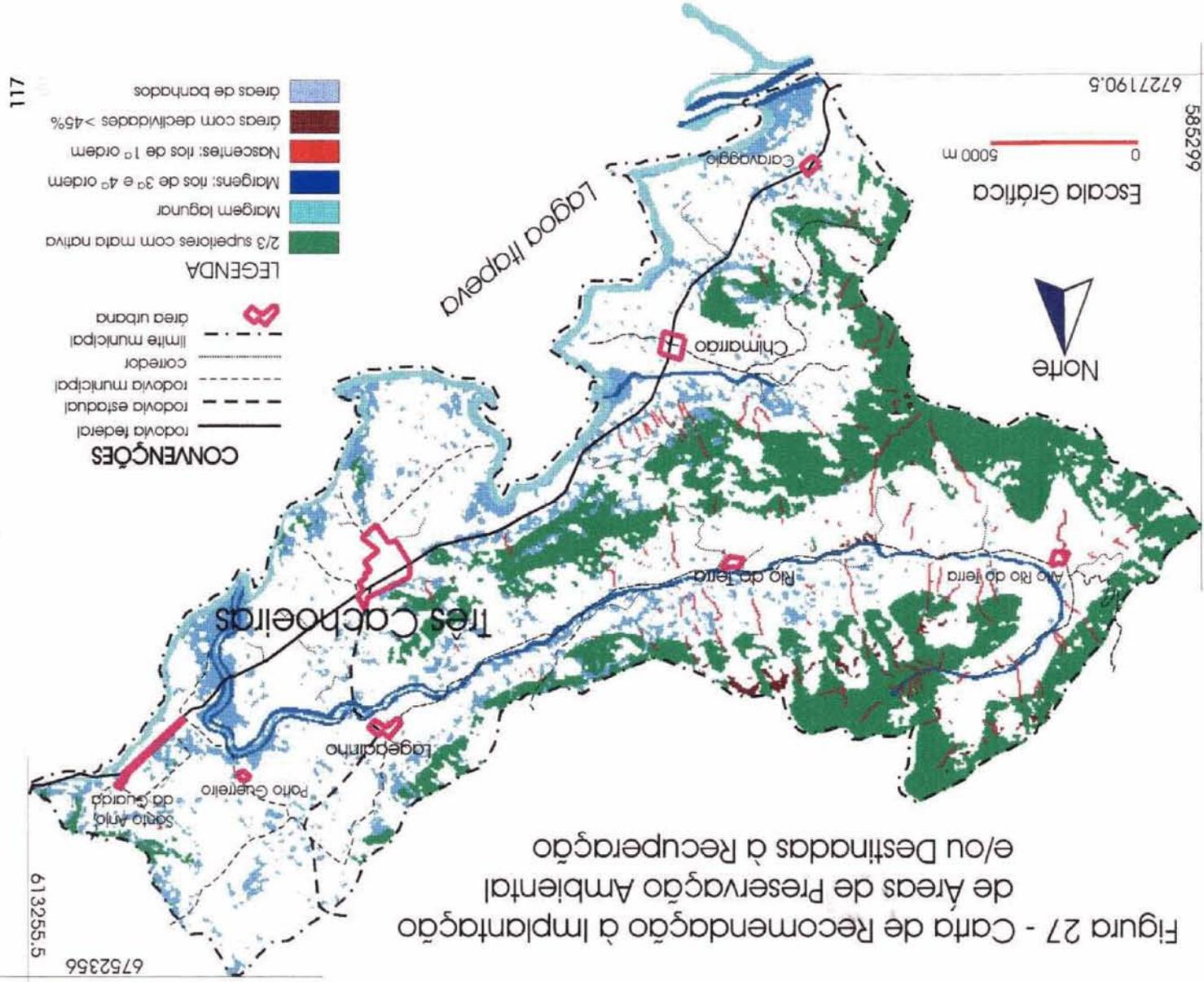


Figura 27 - Carta de Recomendação à Implantação de Áreas de Preservação Ambiental e/ou Destinadas à Recuperação

- LEGENDA**
- 2/3 superiores com mata nativa
 - Margem lagunar
 - Margens: rios de 3ª e 4ª ordem
 - Nascentes: rios de 1ª ordem
 - áreas com declividades >45%
 - áreas de banhados

- CONVENÇÕES**
- área urbana
 - limite municipal
 - corredor
 - rodovia municipal
 - rodovia estadual
 - rodovia federal

117

613255.5

6752356



Escala Gráfica
0 5000 m

6727190.5

585299

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A fotointerpretação se mostrou mais eficiente na detecção da ordem de drenagem do que a classificação dos rios feita diretamente sobre a carta planialtimétrica, pois puderam-se visualizar os rios de primeira ordem omitidos na carta, com isso contribuindo para que mais adiante, pudesse ser identificada uma parte das áreas de preservação ambiental, ou seja, as nascentes, cujo critério adotado neste trabalho foi de classificá-las pelas drenagens de primeira ordem.

Pelas fotografias aéreas, obteve-se a nitida distinção entre as unidades geomorfológicas Serra Geral e Planície Lagunar. No entanto, não foi observada a variação das feições litológicas dentro da Unidade Geomorfológica Serra Geral, devido à semelhança existente entre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral entre si e destas com as rochas areníticas da Formação Botucatu. Este fato pode ser causado pela ocorrência de espessas coberturas coluviais e eluviais no contato entre os diferentes tipos de rocha.

As variações deposicionais dentro da Unidade Geomorfológica Planície Lagunar foram distinguidas satisfatoriamente na fotografia aérea, com excessão das areias eólicas pleistocênicas que foram confundidas com os terraços lagunares, devido às semelhanças de tonalidade e textura, podendo ser separadas somente em campo.

As formações superficiais em geral foram fotointerpretadas mais facilmente do que as unidades de subsolo (rochas), por estarem mais aflorantes.

Na escala de interpretação escolhida (1:20.000), as morfoestruturas foram melhor visualizadas na zona serrana, sendo encobertas pelo manto de alteração nas áreas de transição com a planície costeira.

Os produtos de fotointerpretação, no que pese o comprometimento com a verdade terrestre, apresentaram imprecisões cartográficas devidas às distorções ocasionadas pela projeção cônica das fotografias aéreas, apesar da aplicação de correções por meio de pontos de controle obtidos na carta planialtimétrica, quando da digitalização no sistema geográfico de informações.

Pelas observações de campo, puderam ser distinguidas as rochas da "sequência mesozóica", identificada na fotointerpretação, pois há uma zona de ocorrência predominante do Arenito Botucatu na porção nordeste do município, com pequenos capeamentos de rocha vulcânica da Formação Serra Geral. Na porção oeste, onde tem-se a região mais elevada da

área estudada, pode-se verificar a variação entre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ou seja, rochas básicas variando bruscamente em direção ao topo para rochas básicas a intermediárias.

Também foram, individualizadas em campo as areias cólicas ferruginosas de cor avermelhada, separadas dos “depósitos de terraços lagunares” fotointerpretados.

Entre os terrenos susceptíveis a movimentos de massa, como deslizamentos, escorregamentos, quedas e rolamento de blocos, verificaram-se aqueles situados em altas declividades, formados por depósitos de tálus e os que apresentam solo descoberto sobre colúvios.

Os terrenos onde têm-se colúvios a pouca declividade apresentaram a campo marcas de movimentos de massa sobre áreas abandonadas pela agricultura ou em fase de pousio.

Os depósitos holocênicos, lagunares e deltaicos, por serem materiais com baixa capacidade de suporte para obras civis, estão sujeitos a subsidências devido à ocorrência de argilas, que podem ser “argilas expansivas” ou “solos moles”.

Tendo em vista os aspectos geotécnicos de cada litologia, o desmonte dos materiais rochosos e os sedimentos encontrados é facilitado na extração dos depósitos lagunares, eólicos e aluviais, bem como no manto de alteração das rochas básicas da Formação Serra Geral.

A escavação e a compactação são melhor feitas sobre o elúvio das rochas vulcânicas em geral, quando não houverem blocos de rocha remanescentes.

As melhores condições de suporte, bem como de fundação são fornecidas pelos arenitos da Formação Botucatu e pelas rochas inalteradas da Formação Serra Geral.

Os melhores materiais para aterro são fornecidos pelos depósitos eólicos e, em segundo plano, por sedimentos secos dos depósitos lagunares.

A estabilidade dos cortes é boa também para os arenitos da Formação Botucatu e rochas inalteradas da Formação Serra Geral.

Os materiais com maior capacidade de drenagem são o Arenito Botucatu e os depósitos cólicos de areias ferruginosas.

Registrou-se no levantamento de campo, que na área do município existem muito poucas extrações minerais, apenas algumas pedreiras, que estão desativadas. O material para aterro é extraído exclusivamente dos depósitos de areias eólicas pleistocênicas. Não foram

observadas extrações de cascalhos fluviais nem de argila. No entanto, registrou-se a presença de algumas áreas degradadas correspondendo a atividades minerais abandonadas.

Pode-se concluir que há pouco aproveitamento do potencial de exploração de material para construção civil, necessitando o município de elaboração de carta de zoneamento geotécnico para tal finalidade, a exemplo do que é indicado neste trabalho pela “carta de recomendação à extração de materiais para construção civil”.

A adição de bandas, por reunir toda informação original equilibrada em três canais ou bandas, produziu bom resultado visual, que puderam ser combinados de forma a diminuir as tarefas concernentes à seleção de bandas feitas inicialmente, obtendo-se melhores resultados do que a combinação de tripletes originais, pois não é deixada de lado nenhuma faixa espectral, o que foi bastante importante a realização de uma etapa deste trabalho que é o reconhecimento de alvos para classificação de imagem.

Entre os tipos de filtros direcionais escolhidos, o mais eficaz foi de direção Nordeste-Sudoeste, que refletiu tanto as principais morfoestruturas como as feições lineares secundárias, evidenciando contatos entre o conjunto de rochas mais antigas e os depósitos quaternários, quando comparados com produtos obtidos por fotointerpretação.

Outra técnica utilizada para reunir informações num menor número de bandas foi a aplicação dos componentes principais, a qual concentrou a maior parte da informação espectral na primeira componente, produzindo distribuição desequilibrada dos dados da imagem. ressaltou, porém, aspectos despercebidos nas composições entre as bandas originais.

Visto que o objetivo dos processamentos aplicados é o de melhorar visualmente as imagens para obtenção de amostras para classificação das imagens, observou-se que a adição de bandas teve melhor aplicação neste estudo naquilo que se refere ao cobertura/uso do solo, sendo que para as rochas/solos, os outros produtos também contribuíram de uma forma ou de outra para identificação de feições específicas de cada alvo.

A classificação de imagens se mostrou um método difícil para distinção entre tipos de rocha, visto que a separação dos alvos é feita baseando-se em suas características espectrais e não texturais, como requer na maioria das vezes, o reconhecimento das variações litológicas.

Quanto à cobertura/uso do solo, a classificação foi mais próxima da realidade, pois as características espectrais dos materiais superficiais foram melhor distinguidas pelo método classificador.

O emprego do geoprocessamento permitiu o cálculo das áreas de cada classe para todos os planos de informação, bem como comprimentos lineares e sua direção, isto tudo de uma forma infinitamente mais rápida do que se fosse feita por métodos convencionais com uso de planímetros, por exemplo.

O modelo numérico do terreno foi satisfatório no recobrimento da região escarpada da área estudada, porém, onde houve ausência de curvas de nível e, com isso, baixa densidade de pontos, apresentou-se uma espécie de ruído na imagem sintética em tons de cinza do modelo de altimetria, problema que poderia refletir-se noutros planos de informação derivados e também nos cruzamentos. O emprego de máscara na porção plana da área estudada, relativo aos terraços e planícies aluviais e lagunares, as quais representam as declividades mais baixas, pode resolver o problema do ruído da imagem sintética.

A carta de declividades produzida mostrou-se de grande valor para a geração de outras tantas, por meio da sua utilização em cruzamentos, estabelecendo, por exemplo, as áreas críticas com declividades maiores que 45%, no que diz respeito às áreas de preservação ambiental.

O plano de limite de reservas ecológicas que foi criado a partir de elementos em formato vetorial e varredura, mostrou bom resultado, retratando bem as áreas de preservação ambiental do município.

Com o emprego da fotografia aérea, foi possível encontrar drenagens de até quarta ordem, tendo em vista que as drenagens menores, ou seja, as nascentes não são registradas na carta planialtimétrica na escala 1:50.000.

Tendo em vista que dentro da classe "rochas mesozóicas" do PI litologia obtida por fotointerpretação incluem-se rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu, formou-se uma unidade indivisa muito grande no município. Porém, com a inserção dos dados dos levantamentos de campo, foram separadas estas unidades, Formação Botucatu e Formação Serra Geral, sendo que esta última foi também separada em rochas básicas e rochas intermediárias a ácidas. Além do mais, puderam ser detectados em campo os depósitos de areias eólicas, conforme dados anteriores contidos no "Mapa Geológico da Folha de Três Cachoeiras e Torres" (Horn F^o, et alii, 1984).

Os campos predominam em Três Cachoeiras, sendo seguidas pela zona de mata nativa, que tem significativa área estudada, ocupando quase um quarto da mesma. A região de planície é abrangida por atividades agrícolas. É também relevante a extensão de área

alagada, com mais de 10,00 %, sendo que a cobertura reflorestada e a cultura de banana incluíram-se na mesma classe pelo sistema de tratamento de imagens. Assim também ocorreu com as áreas urbanizadas, pedreiras e solo exposto agrícola, rotuladas por "áreas alteradas que, num resultado otimista, perfazem menos de 2,0 % do total estudado do município.

No PI carta de formações superficiais, resultado do cruzamento entre formações superficiais obtidas pela fotointerpretação e a classificação destas mesmas formações superficiais no PI rochas/solos a partir da imagem, restaram 6,13 % pertencentes a nenhuma classe, devido aos pixels não classificados na imagem. Como esta, houveram alterações em áreas no resultado final, tendo em vista que algumas classes existiam num plano e noutro não puderam ser individualizadas, acarretando na diminuição da área das classes que antes eram incluídas, ou ainda estiveram deslocadas entre si na imagem e na fotografia aérea, o que pode ter sido causado pelo deslocamento dado pelo relevo. Foram os colúvios que sofreram maior redução em área, porque no cruzamento foram corrigidas áreas mal classificadas como sobre depósitos lagunares e por áreas coluvionares interpretadas elúvio+tálus+rocha.

A carta hidrogeológica aponta uma área muito pequena, para o melhor aquífero do município, porém o Arenito Botucatu pode ser encontrado por meio da execução de poços profundos, sendo importante possibilidade para o abastecimento da cidade. O aquífero fraturado, das rochas vulcânicas pode também fornecer água de boa qualidade, dado pelo condicionamento à ocorrência de fraturas abertas nas rochas.

O total de 26,19 % indicado pela "carta de recomendação à extração de materiais de construção" aponta área promissoras dentro das quais podem ser prospectados estes bens minerais, mediante levantamentos detalhados.

A carta de recomendação geotécnica à agricultura mostra problemas gerados na classificação de imagens cruzada para obtenção deste plano, onde 5,11 % não pertence a classe nenhuma, no entanto, para resolver esta lacuna, adotam-se os vazios pelas classes que estão inclusas. Uma porcentagem de 20 % de área não é recomendável às atividades agrícolas, devido principalmente às altas declividades, pois estas atividades nestas condições comprometem o comportamento geotécnico das rochas e solos, podendo gerar ou mesmo acelerar fenômenos de erosão e movimentos de massa na superfície do terreno.

Na "carta de recomendação à implantação de áreas de disposição de resíduos sólidos e loteamentos", observa-se que o município dispõe de uma área de 26 % dentro da qual

pode buscar assentar depósitos de resíduos sólidos, sobre depósitos coluvionares, que possuem baixa permeabilidade e com inclinações medianas. Quanto aos loteamentos numa área em torno de 38 % do podem ser implantados assentamentos sobre depósitos de terraço lagunar, por ter pouca declividade e não oferecer risco de ocupação, sendo também recomendados os depósitos de colúvio e alúvio a baixas declividades.

A carta de recomendação à implantação de obras de infra-estrutura revela uma área desfavorável à implantação deste tipo de obra em mais de um terço dos terrenos emersos do município, observando-se que na situação atual do município, as obras de infraestrutura localizam-se na sua maioria, sobre a zona favorável à implantação recomendada por esta carta.

A carta de recomendação à implantação de áreas de preservação ambiental e/ou destinadas à recuperação as informações atuais da imagem de satélite, indicaram áreas de preservação ambiental contendo mata nativa, zonas de banhados e altas declividades fornecidas pelo modelo numérico do terreno e outras áreas definidas como reservas ecológicas pela Resolução CONAMA nº 004 de 18.11.85, constatando-se que o município possui uma reserva de mata nativa remanescente de "Mata Atlântica", a qual faz parte da porção rio-grandense desta reserva da biosfera dentro do município e da região costeira.

Em termos geológico-geotécnicos, a presença desta reserva florestal nesta zona significa a manutenção das condições ambientais favoráveis para a estabilidade de depósitos de encosta altamente frágeis, rochas fraturadas e alteradas situados em altas declividades e por isso, sujeitos à erosão e movimentos de massa que já são presentes ao longo da encosta serrana do litoral norte do Rio Grande do Sul.

Os banhados, devem ser preservados por formarem um conjunto de ecossistemas costeiros significativos, propiciando que espécies vegetais e animais desenvolvam-se sem que risco de extinção e deve ser evitadas até as práticas agrícolas. À beira de rios e da lagoa Itapeva foram apontadas áreas de preservação que na maior parte devem ser recuperadas quanto à cobertura vegetal com a introdução de espécies vegetais compatíveis com estes ecossistemas.

Pelo exposto, na seqüência fazem-se as recomendações gerais ao presente estudo, bem como aos trabalhos posteriores que possam surgir.

Com objetivo de solucionar o problema da imprecisão cartográfica, recomenda-se que os produtos fotointerpretativos passem por restituição aerofotogramétrica antes de dar entrada no sistema de geoprocessamento.

Tendo em vista as imprecisões do modelo numérico do terreno na porção plana do município, devidas à baixa densidade de pontos da carta planialtimétrica naquela região, recomenda-se a confecção de restituição aerofotogramétrica para elaboração de carta planialtimétrica municipal, em escala maior, com curvas de nível mais próximas, permitindo uma entrada de dados com maior número de pontos.

Para estudos de expansão urbana, cadastros diversos e outras investigações, recomenda-se buscar o apoio de outras ferramentas de pesquisa, para estudos sobre imagens de satélite, tendo em vista que as áreas urbanizadas confundiram-se com áreas degradadas e solo exposto.

No que se refere à separação das litologias indicativas de tipos de rocha desta área, por meio de processamentos digitais, sugere-se que seja desenvolvida integração de dados com produtos que forneçam realce das texturas, como imagens de RADAR, por exemplo.

Recomenda-se que seja feita a delimitação das áreas de preservação ambiental, mediante estudos semelhantes àqueles ora discutidos, os quais empregem a integração de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. H.; CARVALHO Jr. - 1994 - Arquitetura e implementação computacional de filtros digitais multidirecionais para aplicação na detecção de lineamentos estruturais e contatos geológicos. in: 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú, SBG. Anais: p.335-337.

- AYUP-ZOUAIN, R.N.A.; OLIVEIRA, F.M.- 1993 - Ocupação do solo na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul através do uso de sensoriamento remoto. IG-UFRGS, no prelo.

- CÂMARA, G. - 1993 - Anatomia de sistemas de informações geográficas, visão atual e perspectivas de evolução. in: Sistemas de informações geográficas e suas aplicações na agricultura, p: 37-59. Brasília, DF.

- CASTRO, A. G. - 1992 - Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

- CECARELLI, I. C. F.; CHIANG, L. C.; FAGUNDES F^o, E. S. - 1986 - Realce de lineamentos estruturais através de técnicas de filtragens aplicadas a imagens TM LANDSAT no sudeste do Estado de São Paulo. in : 4º Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto, Anais: p. 24. Gramado, RS.

- CHRISTOFOLETTI, A. 1974. Geomorfologia. Edgard Blücher/ EDUSP, São Paulo, 230p.

- CHAVES Jr, P.S.; BERLIM, L.B.; SOWERS, L.B. Statistical method for selecting LANDSAT MSS ratios. Journal of Applied Photogrammetric Engineering, 8:23-30, Aug. 1982.

- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA - 1993 - Resoluções CONAMA entre 1984 e 1992. Min. Des. Urbano e Meio Ambiente, Brasília.

- CRÓSTA, A.P. - 1993 - Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. IG/UNICAMP, Campinas, 170p.

- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *in:* p: 45-53.

- DRURY, S.A. - 1993 - Image Interpretation in Geology. Sec. edition, London, Chapman & Hall, 283p.

- GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L.V. - 1989 - Mapeamento geotécnico regional no centro-leste do Estado de São Paulo. *in:* 1º Simpósio Regional do Sudeste, Rio de Janeiro.

- GOMES, A.; TRICART, J.; TRAUTMANN, J. - 1987 - Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seus arredores: planície costeira do Rio Grande do Sul. Ed. da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 84 pp.

- IBGE - 1986 - Levantamento dos recursos naturais, folha Porto alegre, Uruguaiana e Lagoa Mirim, Vol. 33. FIBGE, Rio de Janeiro, 796 pp.

- IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. - 1995 - Diagnóstico ambiental da APA de Guaraqueçaba/ Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Curitiba: IPARDES, 166p.

JARDIM, H. L. - 1995 - Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento de áreas urbanas próximas às de exploração mineral: o caso de Congonhas, MG. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

JIMÉNEZ, J.R.R.; MATTOS, J.T.; ABRAHÃO, A. - 1990 - Estudo da correlação entre as respostas espectrais e os índices de alteração intempérica dos maciços rochosos (cristalino)

numa região do litoral paulista. *in:* VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-
International Symposium on Primary Data Acquisition. SELPER/INPE, Manaus.

- KUNTSCHIK, G. - 1996 - Aplicação da equação universal de perdas de solos na microbacia do ribeirão das Araras, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

- MERICO, L.F.K. - 1987 - A estabilidade do meio morfodinâmico e sua aplicação no planejamento ambiental. *in:* IIIº Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Soc. Bras. de Geologia, Curitiba. Atas, Vol.1: 3-9.

- MOREIRA, E.C.; ZUQUETTE, L.V. - 1993 - Avaliação do sistema de informação geográfica para aplicação em mapeamento geotécnico. *in:* 1º Simpósio Brasileiro de Cartografia geotécnica, São Paulo.

- NOVO, E. M. L. M. - 1988 - Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações. Edgard Blücher, São Paulo, 308 p.

- OKA-FIORI, C. - 1980 - Contribuição ao estudo das formações superficiais da quadrícula de Piracicaba e São Pedro. Dissertação de mestrado, UFPR, inédito, Curitiba, PR.

- OKIDA, R.; VENEZIANI, P. - 1994 - Caracterização de áreas de risco associadas a escorregamentos e inundações através de técnicas de sensoriamento remoto: uma proposta metodológica. *in:* 38º Congresso brasileiro de Geologia, SBG, Bol. Res. Exp., Vol. 1: 451-452, Balneário Camboriú.

- OLIVEIRA, W.J.; MATTOS, J.T.; JIMÉNEZ, J.R.R. - 1989 - Contribuição para o mapeamento geológico da região sudeste do Estado de Rondônia através de uma sistemática de estudos usando dados de satélite. *in:* 4º Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, SELPER, Anais, Tomo 2: 543-552, Bariloche.

- PARAGUASSU, A.B.; ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1991 - Mapeamento geotécnico regional da folha de Campinas - escala 1:200.000 in: 2º Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo, anais: 375-382.
- PEREIRA NETO, O.C.; VALERIO FILHO, M. - 1993 - Análise comparativa de métodos de elaboração de cartas de declividade aplicadas a estudos do meio físico. in: VII SBSR, INPE/SELPER/SBC, Curitiba. Anais, vol. IV: 226-232.
- RICCI, M.; PETRI, S. - 1965 - Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. Companhia Editora Nacional, 1ª edição, São Paulo, 225 pp.
- RICHARDS, J. A. - 1986 - Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Springer-Verlag, Berlim, 281 p.
- RIEDEL, P.S. - 1988 - Estudo das coberturas de alteração de parte do centro-leste paulista através de dados de sensoriamento remoto. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.
- RIEDEL, P.S.; MATTOS, J.T.; RUEDA, J.R.J. - 1987 - Uso do sensoriamento remoto no estudo das formações superficiais visando o desenvolvimento econômico integrado - caso exemplo: região de Rio Claro. in: Encontro Nacional sobre Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal, INPE/SELPER, Campos do Jordão. Atas: 144-150.
- RUEDA, J. R. J.; MATTOS, J.T. - 1994 - Sistemática para o estabelecimento de locais apropriados à instalação e monitoramento de depósitos de rejeitos sólidos e atividades antrópicas. in: 38º Congresso brasileiro de Geologia, SBG, Bol. Res. Exp., Vol. 1: 61-62, Balneário Camboriú.
- SAIZ, C.C. - 1996 - Aplicação do modelo da equação universal de perdas de solo através de dados TM-LANDSAT e geoprocessamento, como suporte para o planejamento conservacionista. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

- SANTOS, G.T. - 1994 - O mapeamento geotécnico e o planejamento urbano. in: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC, Florianópolis. Anais:169-174.
- SARAIVA, R.M.; RODRIGUES, J.E. - 1994 - Aplicação de metodologia de mapeamento geotécnico como subsídio ao planejamento ambiental. in: X COBRAMSEF - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS. Anais, Vol. 3: 939-946, Foz do Iguaçu.
- SCHOWENGERDT, R.A. - 1983 - Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press. New York, 249p.
- SOARES, C. S.; FIORI, A. P. - 1976 - Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. in: Notícia geomorfológica, Campinas, 16 (32): 55-70.
- SPVS - SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL - 1992 - Plano integrado de conservação para região de Guaraqueçaba, Paraná, Brasil/ Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental. Curitiba: SPVS, 2v, 129p. 2ª edição.
- STRAHLER, A.N.; STRAHLER, A.H. - 1989 - Geografia Física. Editora Omega, Barcelona, 415p.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. - 1991 - Geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul. in: Pesquisas,IG-UFRGS, Porto Alegre, vol 18, nº 1: 13-24.
- TRAININI, D. R. - 1994 - Diagnóstico preliminar dos aspectos ambientais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul/Douglas R. Trainini. - Porto Alegre: CPRM. 1 vil. - (Série Ordenamento Territorial - Volume 18). "Projeto Informações Básicas para Gestão Territorial do Litoral Norte do Rio Grande do Sul - LINORS".

- TRICART, J. - 1977 - Ecodinâmica, SUPREN/IBGE, 97 pp, Rio de Janeiro.

- VEDOVELLO, R. - 1993 - Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. - 1990 - Verificação de parâmetros e propriedades morfoambientais, em imagens de satélite, para estudo de planejamento de áreas litorâneas. *in*: VI SBSR, INPE/SELPER/ISPRS, Manaus. Anais, vol. 3: 671-675.

- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. - 1991 - Zoneamento geotécnico de múltiplo uso do município de Ubatuba - SP: uma abordagem através de sensoriamento remoto. *in*: Encontro nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal, 2, Serra Negra. Anais: 103-107. São José dos Campos.

- - VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. - 1992 - Compartimentação fisiográfica para o zoneamento geotécnico através de sensoriamento remoto orbital. *in*: 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SBG. Boletim de Resumos Expandidos, p. 149-149.

- VELASQUES, I.F.; BERED, A.; DOBROVOLSKI, R. - 1992 - O macrozoneamento costeiro do Rio Grande do Sul, metodologia de abordagem, Programa de Gerenciamento Costeiro - GERCO/RS, Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM, 14 pp, Porto Alegre.

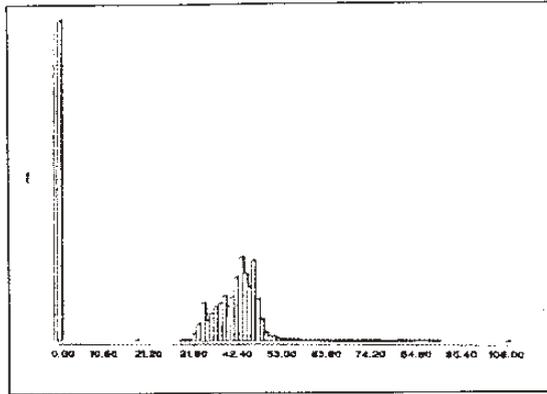
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E.; GOMES, A. O.; VALERIO Fº, M.; KURKDJIAN, M. L. N. O.; FLORENZANO, T. G. - 1990 - Contribuição da geologia para a atualização do macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo com utilização de dados de imagens TM LANDSAT. *in*: 36º Congresso brasileiro de Geologia, SBG, Bol. Res.: p. 350, Natal.

- VERDINELLI, M.A., VERDINELLI, M.E.P. - 1994 - Cadastro técnico multifinalitário e gestão ambiental de zonas costeiras. *in:* 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC, Florianópolis. Anais: 93-97.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. - 1994 - Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Nota explicativa para o Mapa Geológico 1: 1.000.000. CECO-IG-UFRGS. versão preliminar, Porto Alegre, 56 pp.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1981 - Cartografia geotécnica preliminar na região de São Carlos. *in:* Simpósio de Cartografia da Academia de Ciências do Estado de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1984 - Contribuição à cartografia geotécnica da grande Cuiabá - MT *in:* IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Belo Horizonte. Vol. 2:109-118.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1987 - Proposta de sistemática para mapeamento geotécnico regional em pequenas escalas. *in:* 6º Simpósio regional de Geologia, SBG - núcleo SP, Rio Claro, SP. Atas Vol. 2: 431-436.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1990 - Mapeamento geotécnico da região de Campinas - SP. *in:* 6º Simpósio Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE. Anais, Vol 1: 231-242, Salvador.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. - 1992 - Mapeamento geotécnico da região de Campinas - SP e sua importância para o planejamento regional. *in:* GEOCIÊNCIAS, 11 (2): 191-206, UNESP, Rio Claro.

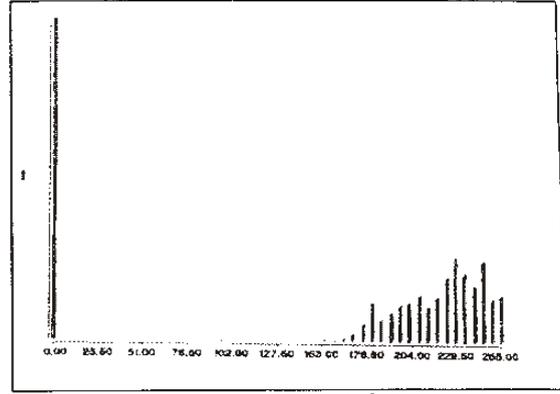
ANEXOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA FICHA DE LEVANTAMENTO GEOLÓGICO APLICADO DE CAMPO			
<i>DADOS GERAIS</i>			
Ficha N ^o :	Ponto ^o :	Coordenadas: N= E= H=	Data:
<i>RELEVO</i>			
forma:	posição na vertente:	declividade estimada:	
amplitude:	padrão de drenagem:	unidade geomorfológica:	
<i>LITOLOGIA</i>			
cor:	textura:	estruturas:	
classificação macroscópica:	unidade litoestratigráfica:	outros:	
<i>ASPECTOS GEOTÉCNICOS</i>			
grau de alteração:	tipo de solo/profundidade:	tipo de erosão	
movimentos de massa:	nível freático:	permeabilidade:	
<i>USO DO SOLO</i>			
cobertura vegetal:	tipo de cultura:	área urbana:	
rodovia:	mineração:	outros:	
<i>CROQUI:</i>			
<i>FOTOGRAFIA:</i>			

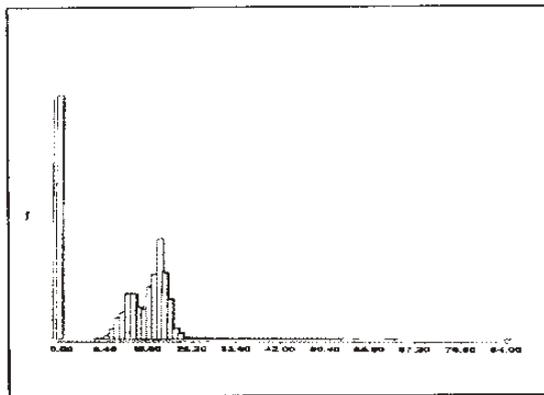
Anexo 2 Ficha utilizada no trabalho de campo



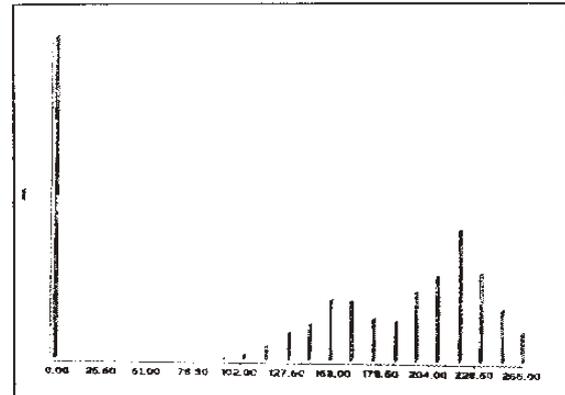
banda 1



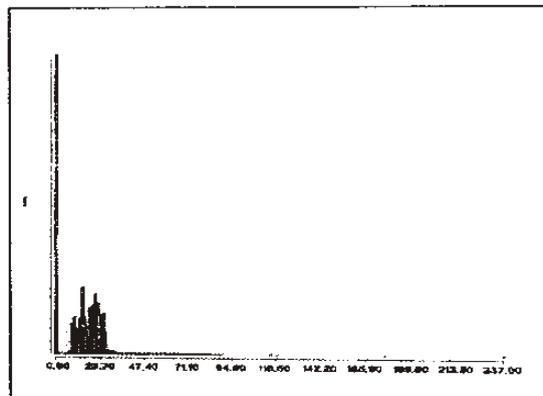
banda 1 contrastada



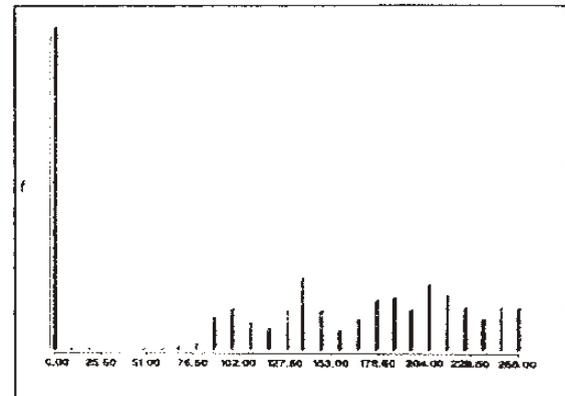
banda 2



banda 2 contrastada

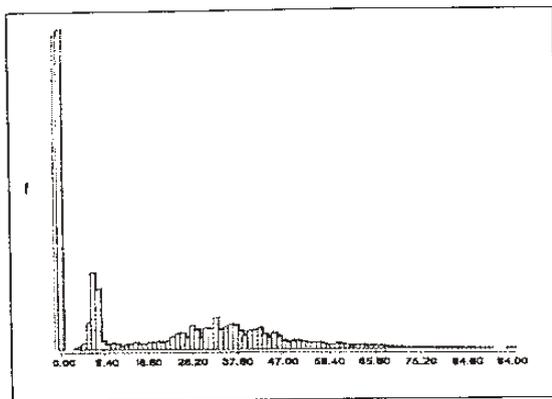


banda 3

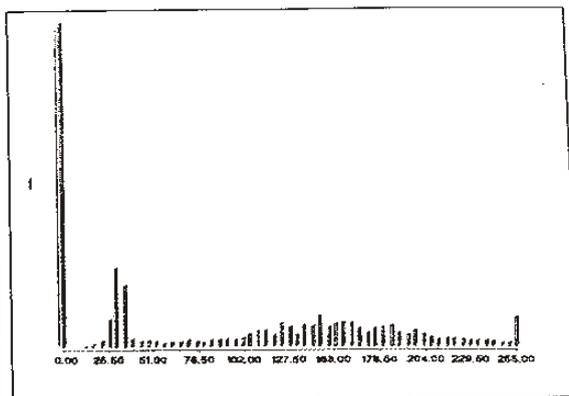


banda 3 contrastada

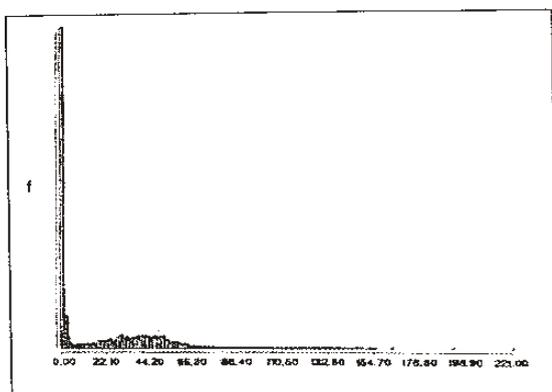
Anexo 3 Comparação entre histogramas das bandas originais e histogramas expandidos.



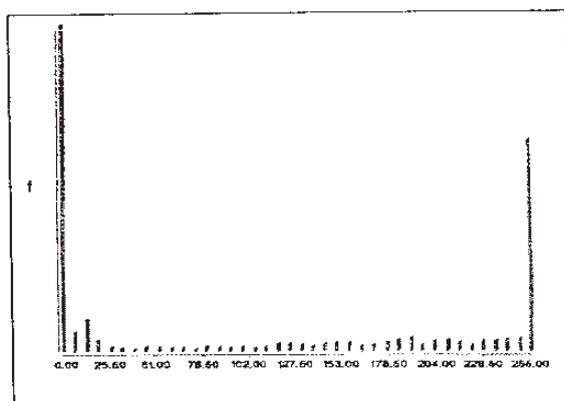
banda 4



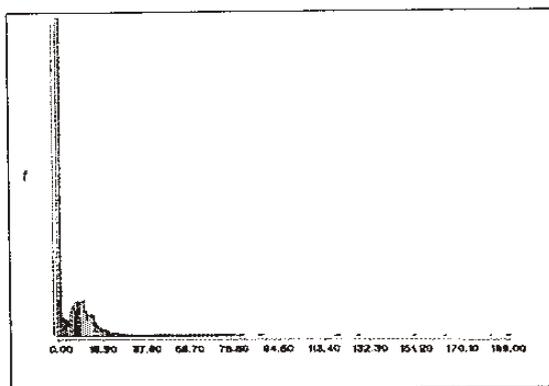
banda 4 contrastada



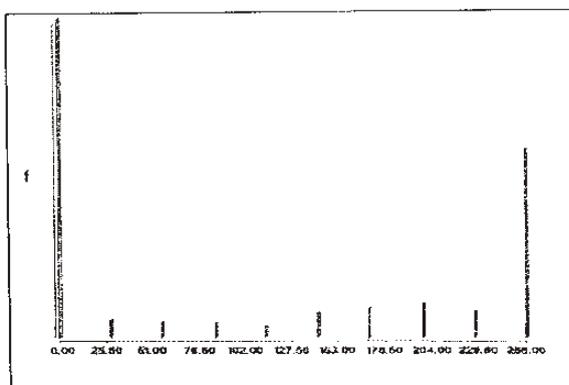
banda 5



banda 5 contrastada



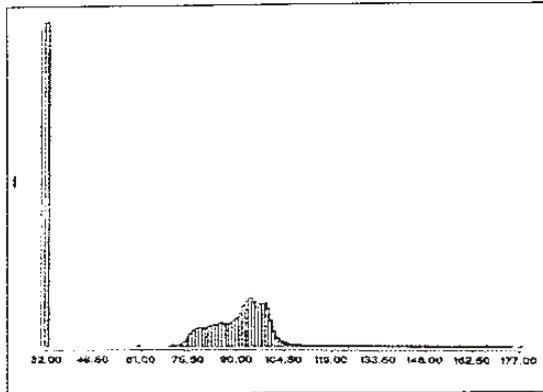
banda 7



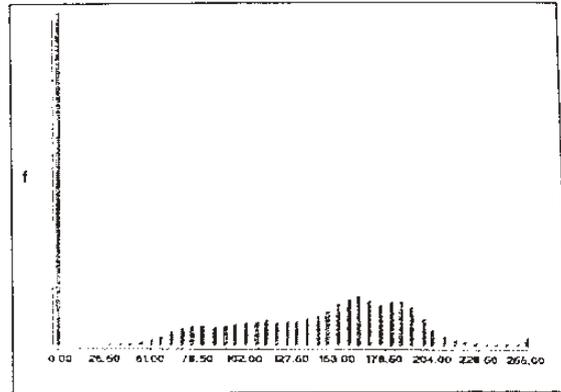
banda 7 contrastada

Universidade Federal do Rio de Janeiro
 Instituto de Geociências
 Biblioteca

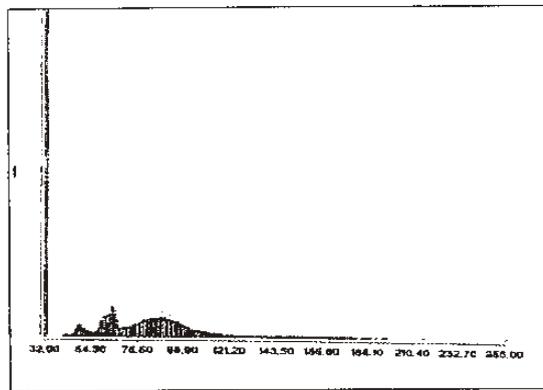
Anexo 4 Comparação entre histogramas das bandas originais e histogramas expandidos.



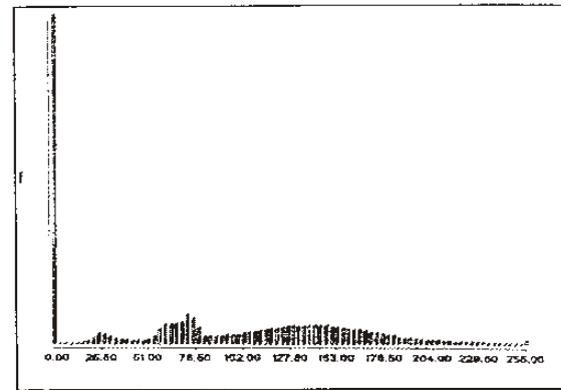
banda 1+2



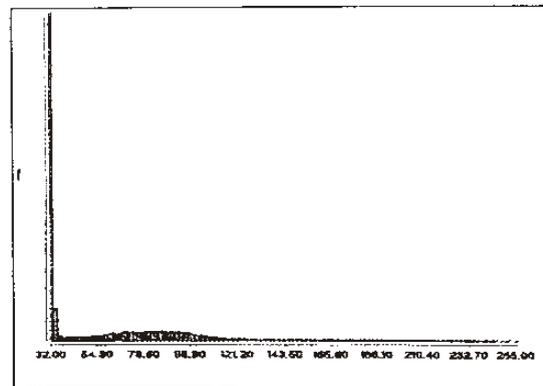
banda 1+2 contrastada



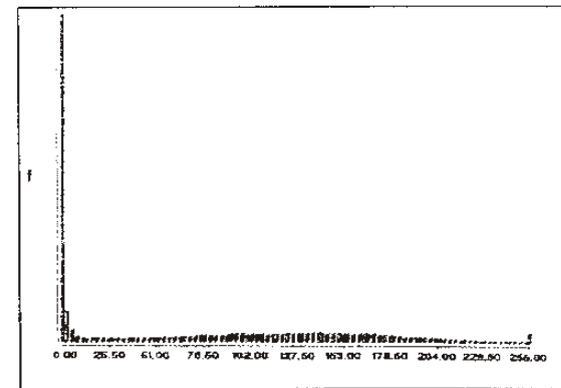
banda 3+4



banda 3+4 contrastada

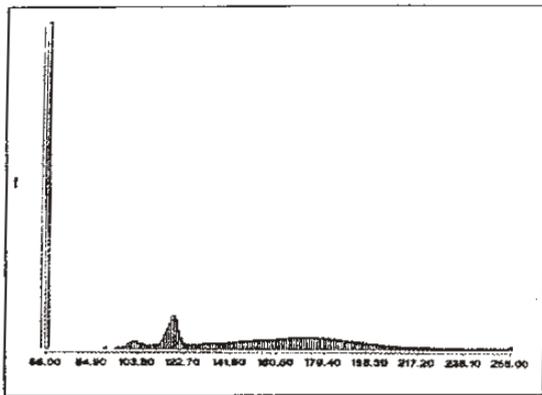


banda 5+7

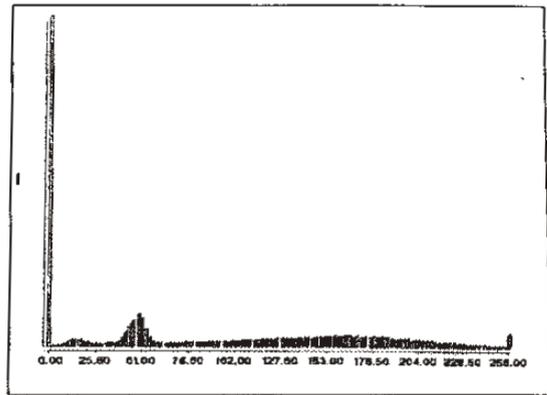


banda 5+7 contrastada

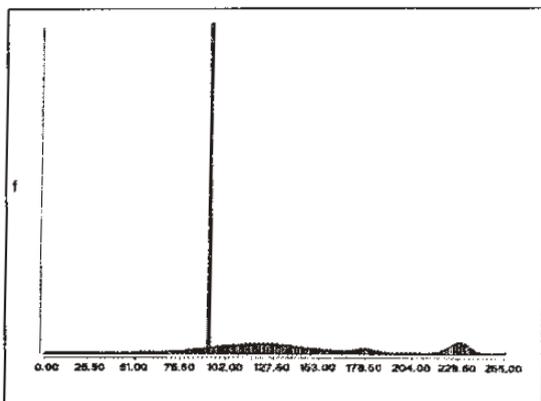
Anexo 5 Comparação entre histogramas da adição de bandas e os respectivos histogramas expandidos.



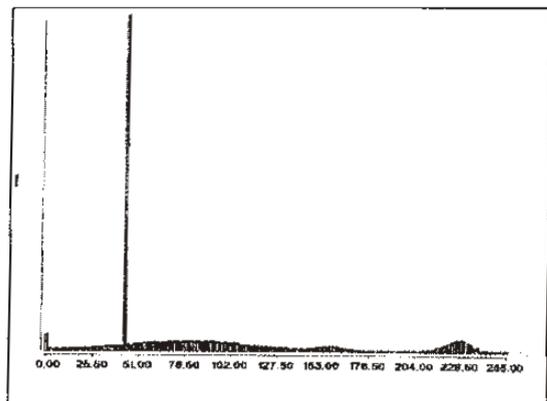
banda C1



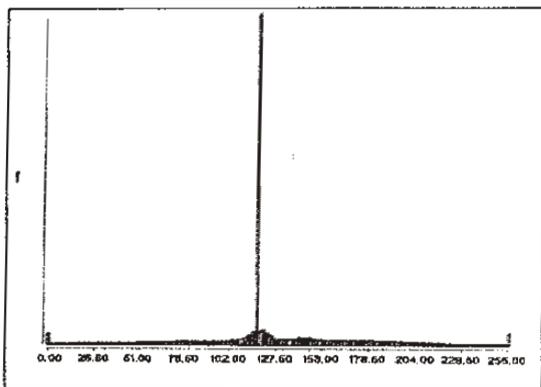
banda C1 contrastada



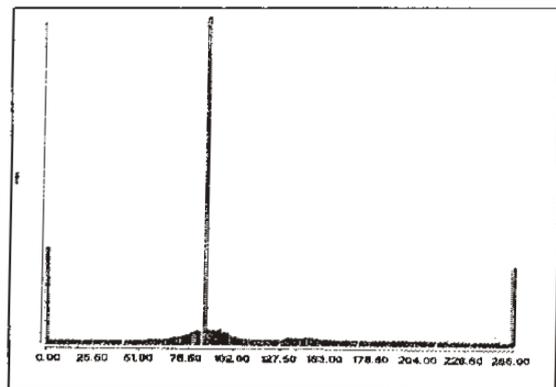
banda C2



banda C2 contrastada



banda C3

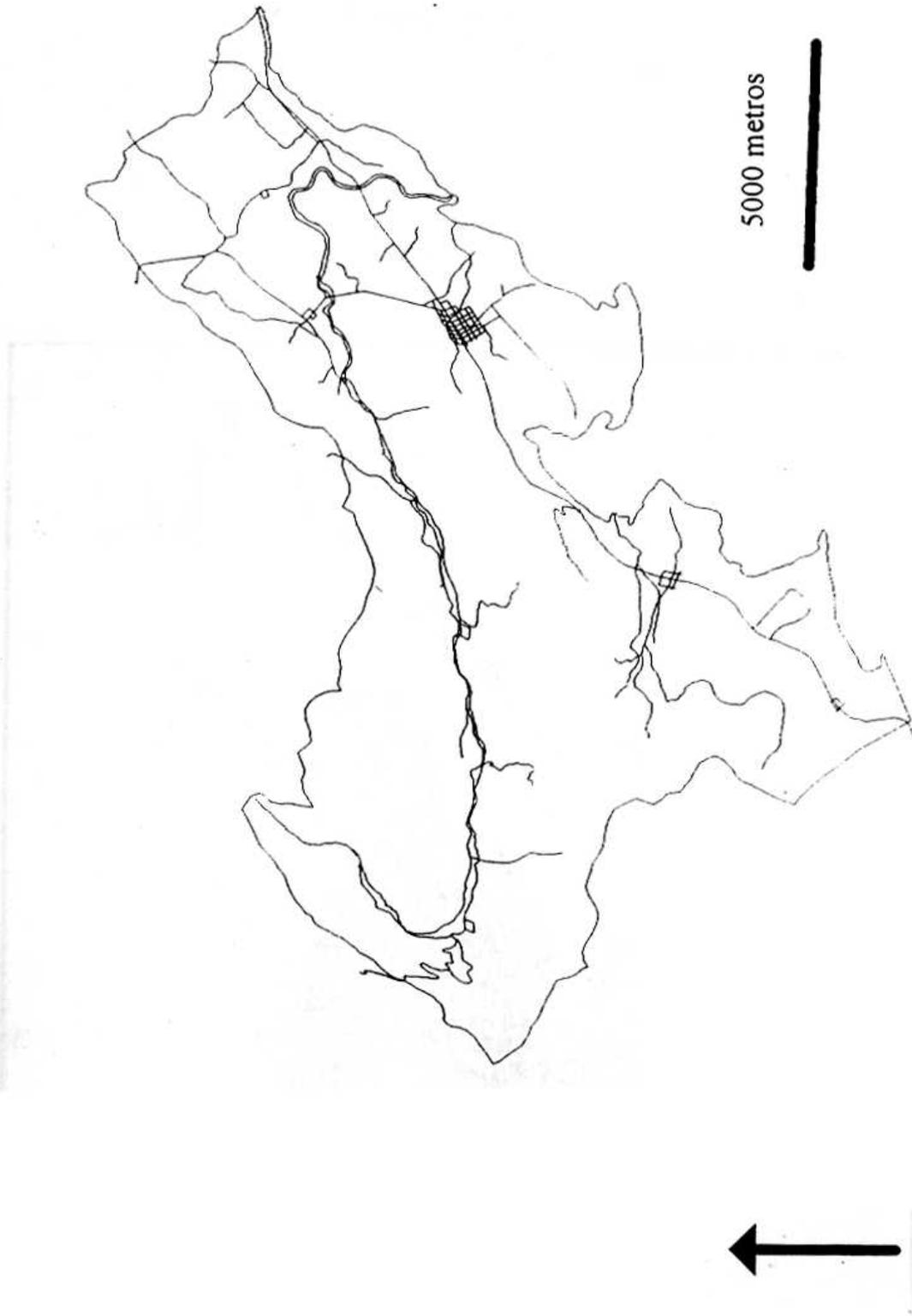


banda C3 contrastada

Anexo 6 - Comparação entre histogramas das bandas C1, C2 e C3 e seus respectivos histogramas expandidos.

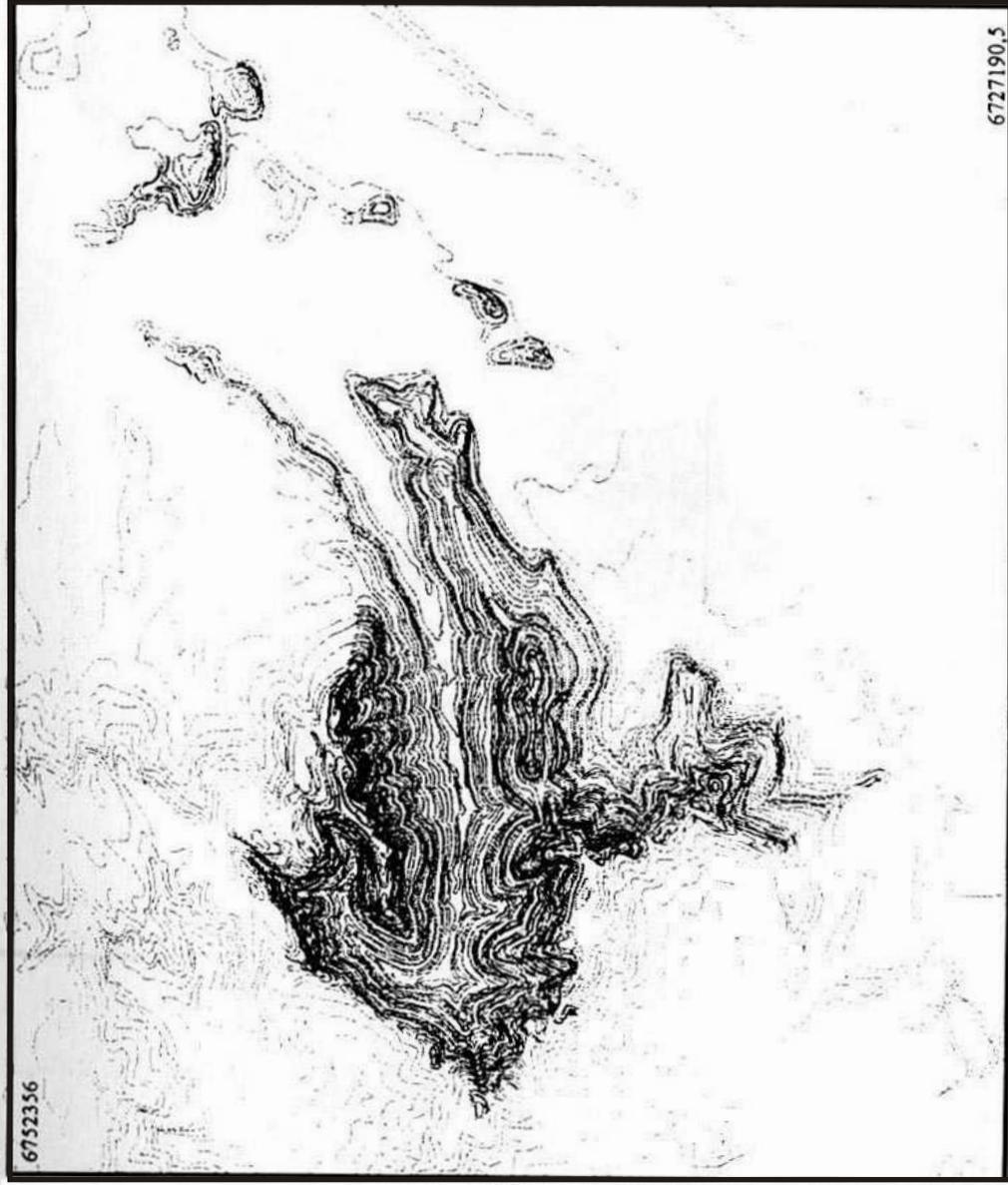
Anexo 7

Limite da Área Estudada e Estrutura Viária



Anexo 8 - Cartas com curvas de nível digitalizadas no SGI na qual se tem curvas de nível de 20 em 20 metros dentro da área de interesse.

583299



6727190,5

613255,5

Anexo 9 - Imagem sintética gerada a partir do modelo numérico do terreno.

