Número: 27/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

RICARDO VICENTE FERREIRA

Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na Identificação de Unidades Geoambientais no Município de Analândia – SP

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia

BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP

Orientador: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

CAMPINAS - SÃO PAULO

Julho - 2005

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Ricardo Vicente Ferreira e aprovada pela Comissão Julgadora em 31/08/2005

ORIENTADOR

© by Ricardo Vicente Ferreira, 2005

UNIDADE BC
Nº CHAMADA
T/UNICAMP
F413u
EX
TOMBO BC/ 66367
PROC. 16-P-2000 85-05
C ☐ D ☒
PREÇO 11,00
DATA 24/11/05
Nº CPD
BIB ID: 373906

Catalogação na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

Ferreira, Ricardo Vicente
F413u Utilização de sistemas de informação geográfica na identificação de unidades geoambientais do município de Analândia (SP) / Ricardo Vicente Ferreira.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2005.

Orientador: Marcos César Ferreira.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Sistemas de Informação Geográfica. 2. Análise Ambiental. 3. Terra - Uso. 4. Geologia ambiental. 5. Mapeamento do meio ambiente. I. Ferreira, Marcos César. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês: Use of Geographic Information Systems in the identification of environmental units in Analândia (SP) municipal area.
Keywords: - Geographic information system;
- Environmental analysis;
- Land use diagnosis;
- Environmental units.
Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial
Titulação: Mestre em Geografia
Banca examinadora: - Marcos César Ferreira;
- Carlos Roberto de Souza Filho;
- Sergio dos Anjos Ferreira Pinto.
Data da defesa: 31/08/2005

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: RICARDO VICENTE FERREIRA

Utilização de sistemas de Informação Geográfica na Identificação de unidades Geoambientais do Município de Analândia (SP)"

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Aprovada em: 31 / 8 / 2005

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Marcos César Ferreira - **Presidente**

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Campinas, 31 de agosto de 2005

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

CM00216600

"...eu guardei somente pra te dar, Luiza"

A quem dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor doutor Marcos César Ferreira, pelas orientações e acompanhamento no desenvolvimento da dissertação.

Aos amigos Marcos Martines e Fernando Kawakubo, pelos ensinamentos, intercâmbio, participação e incentivo nesta pesquisa.

Ao pessoal do LASERE – USP, pela infraestrura fornecida.

Às meninas da Secretaria de Pós-Graduação da Geografia: Val e Edinalva, obrigado!

Ao Gilberto Duarte de Oliveira pelo apoio no Resumo e Abstract.

Ao meu irmão Rogério que tem sempre participado da minha vida acadêmica.

Aos meus pais Alcebíades e Vera, meu irmão Renato, minhas cunhadas (o) Sandra, Maria José, Vitória Regina, Paula e Lázaro pelo incentivo neste trabalho. Aos familiares e amigos que diretamente e indiretamente acompanharam esta etapa. À Duda (na nossa lembrança).

Á Deus por me permitir chegar até aqui!

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geografia

UNICAMP

Utilização De Sistemas de Informações Geográficas na Identificação de Unidades Geoambientais no Município de Analândia – SP

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Ricardo Vicente Ferreira

O município de Analândia localiza-se em uma Área e Proteção Ambiental pertencente a uma região caracterizada por abrigar importantes unidades geomorfológicas e hidrográficas de interesse à conservação. A presença de rodovias, atividades rurais e turísticas no local despertam a atenção para a realização de levantamentos que permitam conhecer melhor as características ambientais do meio. Este estudo teve como objetivo o mapeamento das unidades geoambientais desta área através da construção e análise de uma base de dados contendo variáveis ambientais indicadoras de instabilidade à erosão. Assim, foram organizados mapas temáticos referentes ao uso da terra e cobertura vegetal, solos, geologia e declividade. Utilizou-se como instrumento os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que serviram para a integração dos dados, processamento digital de imagens e construção de um modelo de análise espacial. A área estudada compreende uma superfície de 327.64 km^2, sobre a qual sobressaem formações geomorfológicas da Depressão Periférica em contato com o Planalto Ocidental Paulista e características hidrográficas marcadas pela presença das cabeceiras dos rios Corumbataí e afluente do Mogi-Guaçu. Os dados obtidos em mapas temáticos e por intermédio do sensoriamento remoto, foram submetidos à análise espacial, a qual proporcionou a delimitação de unidades geoambientais e a construção de um modelo cartográfico quantitativo do potencial destas unidades geoambientais em relação a sua fragilidade ambiental a erosão.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geografia

Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na Identificação de Unidades Geoambientais no Município de Analândia - SP

ABSTRACT

Master Thesis

Ricardo Vicente Ferreira

Analândia is a municipal area in the western of the State of São Paulo (Brazil). Its limits are set in an Environmental Protection Area called APA (Área de Proteção Ambiental). The singular geomorphological and hydrographical unit present in such region is of interest to conservation. The presence of highways, agricultural businesses and tourism in the place call the attention for the accomplishment of surveys that allow to better know the characteristics of the environment. The present thesis has the objective to map the geoenvironmental units of the APA area through the construction and analysis of a database including changeable ambient indicating of instability. Thus, thematic maps had been organized referring to the use and land use, soil, geology and declivity. It was used as instrument the Geographic Information Systems called SIG that served for the integration of the data, digital processing of images and construction of a model of spatial analysis. The studied area covers a surface of 327.24 km^2 on which stand out geomorphological formations of the Peripheral Depression in contact with The Occidental Plateau of São Paulo interland and hydrographic characteristics marked by the presence of headspring of the Corumbataí river and by of the tributary rivers of the Mogi-Guaçu. By the remote sensing control, the data gotten in thematic maps that had been submitted to the space analysis, which provided the delimitation of environmental units and the construction of a quantitative cartographic model of the potential of these environmental units with reference its environmental fragility.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1

1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 5

1.1 BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO 9

1.2 GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E SOLOS 13

1.3 HIDROGRAFIA E VEGETAÇÃO 20

1.4 CLIMA 25

1.5 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL 27

1.5.1 Área de Proteção Ambiental - APA 29
2.5.1.1 APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá 31

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA 35

2.1 ABORDAGEM SISTÊMICA 35

2.1.1 Pressupostos metodológicos dos geossistemas 38
2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS 46

2.2.1 Conceito 46
2.2.2 A abordagem sistêmica nos Sistemas de informações geográficas 48
2.2.3 Modelos de dados espaciais 50
2.2.4 Análise Espacial 51
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS 57

2.3.1 Pré- Processamento 62
2.3.3 Processamento digital de imagens na geração de mapa de uso da terra 63
2.4 INTEGRAÇÃO ENTRE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. 67

3. MATERIAL E MÉTODO 71

3.1 BASE DE DADOS, EQUIPAMENTOS E SOFTWARES COMPUTACIONAIS. 71

3.3 ENTRADA, FORMATAÇÃO E AJUSTE DOS DADOS 72

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 75

4.1 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS E GERAÇÃO DE MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL 75

4.1.1 Registro de imagens 75
4.1.2 Classificação 76
4.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT) 83

4.3 ANÁLISE ESPACIAL 91

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA E DA COBERTURA VEGETAL 105

4.5 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOSSISTÊMICAS 106

4.6 POTENCIALIDADE À FRAGILIDADE AMBIENTAL COM APOIO NAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS 108

CONSIDERAÇÕES FINAIS 113

BIBLIOGRAFIA 115

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process ("Processo Analítico Hierárquico").
APA	Área de Proteção Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEGAL	Linguagem Espaço-Geográfica Algébrica
MDT	Modelo digital do terreno
PI	Plano de Informação
SIG	Sistemas de informações geográficas
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SPRING	Sistema para o Processamento de Informações Georeferenciadas
TIN	Triangulated Irregular Network (Rede Irregular de Triângulos)
UC	Unidades de Conservação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Analândia no Estado de São Paulo 7

Figura 2 - Linhas férreas do Estado de São Paulo, A: ramal de Analândia 1935 em destaque; Foto da Estação Anápolis em três períodos: B- sem data , C- 1918, D- 2001 10

Figura 3. Esboço climático do município de Analândia (SP): Média pluviométrica mensal e variabilidade térmica média segundo os níveis altimétricos 26

Figura 4 – Conceituação teórica e abordagem metodológica dos geossistemas presentes em alguns autores 46

Figura 5 - Ilustração do modelo de representação das grades Retangular e TIN 74

Figura 6 - fluxograma de etapas do processo de classificação e geração de mapa de uso da terra e cobertura vegetal 75

Figura 7 – Gráfico de comparação das assinaturas espectrais 77

Figura 8 - Fluxograma das etapas de análise espacial 91

Figura 9 – Matriz gerada por meio do processo analítico hierárquico (AHP) 100

Figura 10 - Três modelos (a; b; c) de representação das classes de fragilidade ambiental no município de Analândia (SP) 103

Figura 11 - Porcentagem das classes do potencial à fragilidade ambiental a erosão no município de Analândia – SP 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de solos predominantes no município de Analândia – São Paulo 16
Tabela 2 - Sistema de classificação das paisagens em função da escala de abordagem 40
Tabela 3 - Escala de valores da comparação pareada do AHP 55
Tabela 4 – Principais Características do Sistema Landsat 59
Tabela 5 - Bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto usados na pesquisa 71
Tabela 6 – Estrutura do banco de dados utilizado na pesquisa 74
Tabela 7 – Pontos de controle adquiridos no processo de georreferenciamento da imagem nas coordenadas do projeto 76
Tabela 8 - Matrizes de erro e das bandas classificadas 79
Tabela 9 - Matriz de relação entre classes de uso da terra e cobertura vegetal, solo e declividade 93
Tabela 10 – Hierarquia de valores atribuídos às classes temáticas dos principais elementos da paisagem 98
Tabela 11 - Combinação das variáveis ambientais e estabelecimento da importância relativa na análise do suporte à decisão 99
Tabela 12 - Matriz de comparação pareada e resultado do cálculo do vetor de prioridade estimado para a composição dos pesos 100
Tabela 13 - Matriz de comparação pareada e resultado do cálculo do vetor de prioridade estimado 101
Tabela 14 - Superfície total e relativa das classes de uso e cobertura do solo do município de Analândia – SP 105
Tabela 15 - Características predominantes dos Geossistemas do município de Analândia – SP 106
Tabela 16 - Superfície total e relativa dos Geossistemas de Analândia – SP 107
Tabela 17 - Área total e relativa do potencial à fragilidade ambiental em Analândia, no contexto das classes geossistêmicas 110

LISTA DE MAPAS

Mapa 1- Mapa da geologia de superfície do município de Analândia (SP)..... 15
Mapa 2 – Mapa pedológico do município de Analândia (SP)..... 17
Mapa 3 – Mapa da cobertura Vegetal do município de Analândia (SP)..... 23
Mapa 4 - Localização da APA Corumbataí, Botucatu, Tejupá: perímetro Corumbataí..... 32
Mapa 5 – Mapa do uso da terra e cobertura vegetal do município de Analândia (SP)..... 81
Mapa 6 - Produtos de MDT: Mapa Hipsométrico (esquerda)..... 85
Mapa 7 - Produtos de MDT: Modelo Sombreado do Relevo (direita)..... 85
Mapa 8 – Mapa de declividade do Município de Analândia (SP)..... 89
Mapa 9 – Mapa dos geossistemas e geofácies do Município de Analândia (SP)..... 95

INTRODUÇÃO

O estudo dos espaços naturais antropizados sempre foi objeto de análise da geografia, se enquadrando no contexto da pesquisa ambiental. Importantes contribuições ao estudo das paisagens advêm de trabalhos realizados por geógrafos que, no exercício de conceitos e métodos, analisam a relação homem/natureza e seu reflexo no meio ambiente. No contexto brasileiro, a pesquisa geográfica voltada para esta investigação apresenta ainda muitas lacunas - sobretudo em insuficientes estudos empíricos -, que tendem a ser preenchidas cada vez com maior velocidade, graças a crescente formação de profissionais que se utilizam da tecnologia do geoprocessamento nas atividades ligadas ao meio ambiente.

As geotecnologias são uma importante aliada na pesquisa ambiental, principalmente ao fornecer melhores recursos à investigação. A realidade tecnológica do presente gera condições de agilidade e precisão na execução de tarefas, principalmente no que diz respeito à coleta, armazenamento, transformação e apresentação de dados. Apesar das vantagens oriundas destes recursos, observa-se ainda um número limitado de especialistas desfrutando plenamente dos benefícios proporcionados pelas novas tecnologias.

As proporções continentais do território brasileiro aliado à falta de recursos financeiros e, por vezes, infra-estrutura para avaliar as condições ambientais de seus espaços naturais, torna-se um empecilho ao desenvolvimento de programas voltados para o ordenamento e zoneamento. Soma-se ainda o grande descompasso entre a velocidade com que ocorrem as mudanças promovidas pela exploração humana dos recursos naturais do país, e as condições de se fazer conhecer e avaliar o impacto que tais práticas exercem sobre o meio ambiente. Não há dúvida que tal fato implica em conseqüências negativas, refletindo na qualidade ambiental e manifestando-se nas mais variadas proporções. É provável que as novas tecnologias tenham muito a contribuir na solução de problemas ambientais, ampliando o conhecimento com maior agilidade e garantindo o intercâmbio de dados e informações.

Com apoio das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, o presente trabalho tem por objetivo, identificar e caracterizar unidades geoambientais do terreno, na área compreendida pelo município de Analândia (SP), sob o enfoque da abordagem

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

sistêmica, visando assim, o provimento de dados e informações que sirvam como orientação inicial ao planejamento ambiental.

Parte-se inicialmente da relação de interdependência que os componentes naturais da paisagem estão submetidos, os quais devem ser abordados a partir do enfoque sistêmico.

Através da seleção das principais variáveis que compõem a paisagem geográfica, é possível representar a estruturação morfológica das unidades espaciais de uma dada porção do terreno, e assim fazer uma análise indicativa das potencialidades da área para programas de desenvolvimento e conservação.

A manipulação, análise e integração dos dados utilizados foram viabilizados pelas tecnologias dos sistemas de informações geográficas que permitiram a construção de um banco de dados georeferenciado e relacional, bem como a execução de tarefas de manipulação, análise de dados e resultados exigidos nas diferentes etapas da pesquisa.

A dissertação aqui apresentada divide-se em quatro capítulos. No primeiro capítulo é descrita a paisagem da área de estudo, mostrando em que contexto histórico se deu o processo de ocupação das terras e que características naturais potencializam-na à conservação. Discorre-se também a respeito dos espaços destinados à preservação ambiental, procurando mostrar como a criação de áreas de proteção, ocorrida em tempos recentes, se insere em um contexto político maior, produto da evolução histórica que, gradativamente, estabeleceu diretrizes voltadas para esse fim.

No segundo capítulo, fala-se a respeito do suporte teórico-metodológico utilizado. A metodologia da geografia, dos sistemas de informações geográficas e do sensoriamento remoto são, em certa medida, independentes. Todavia, é possível integrá-las em um contexto único que é o do meio ambiente. Do ponto de vista teórico, o arcabouço provido pela geografia é essencial, sendo este que irá entrelaçar as três disciplinas em torno do objetivo principal no âmbito da presente pesquisa.

No terceiro capítulo, são descritos os procedimentos adotados na aquisição, análise e integração dos dados. A ênfase maior é dada ao processamento de imagens digitais, voltada à elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal; aos métodos de análise espacial direcionados para a identificação e delimitação dos polígonos dos geossistemas presentes na área; e à construção de um mapa indicativo da fragilidade ambiental com o apoio nas

variáveis solo, geologia, declividade e uso da terra e cobertura vegetal. O indicador de fragilidade ambiental deve ser entendido como uma avaliação da potencialidade à erosão a que a área está exposta, ou seja, em que medida uma dada porção do terreno pode estar favorável à ocorrência de processos erosivos.

No quarto e último capítulo faz-se a análise dos resultados. A partir da aquisição dos dados temáticos obtidos por meio de mapas pré-existentes; trabalho de campo; produto de sensoriamento; e manipulação de ferramentas dos sistemas de informações geográficas, foi possível produzir mapas temáticos derivados. Para a execução destas tarefas, realizou-se testes de mapeamento e análise através de recursos de medidas de classes e visualização, considerando tanto resultados quantitativos - apresentados na forma de tabelas -, como a inspeção visual dos mapas produzidos, o que possibilitou a investigação da distribuição espacial dos mesmos.

1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Analândia ocupa área de 312 km^2 com altitudes médias de 677m. Na área urbana, atingindo o ponto máximo (1058m) no Serrote da Nova América, situado na porção leste da serra do Cuscuzeiro. Está localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo, entre as coordenadas 47°30' e 47°50'W e 22°00' e 22°15 S. Dista 230 km da capital do Estado, fazendo limite com os municípios de Descalvado (Norte), Pirassununga e Santa Cruz da Conceição (Leste), São Carlos (Oeste) e Corumbataí e Itirapina (Sul) (Figura 1).

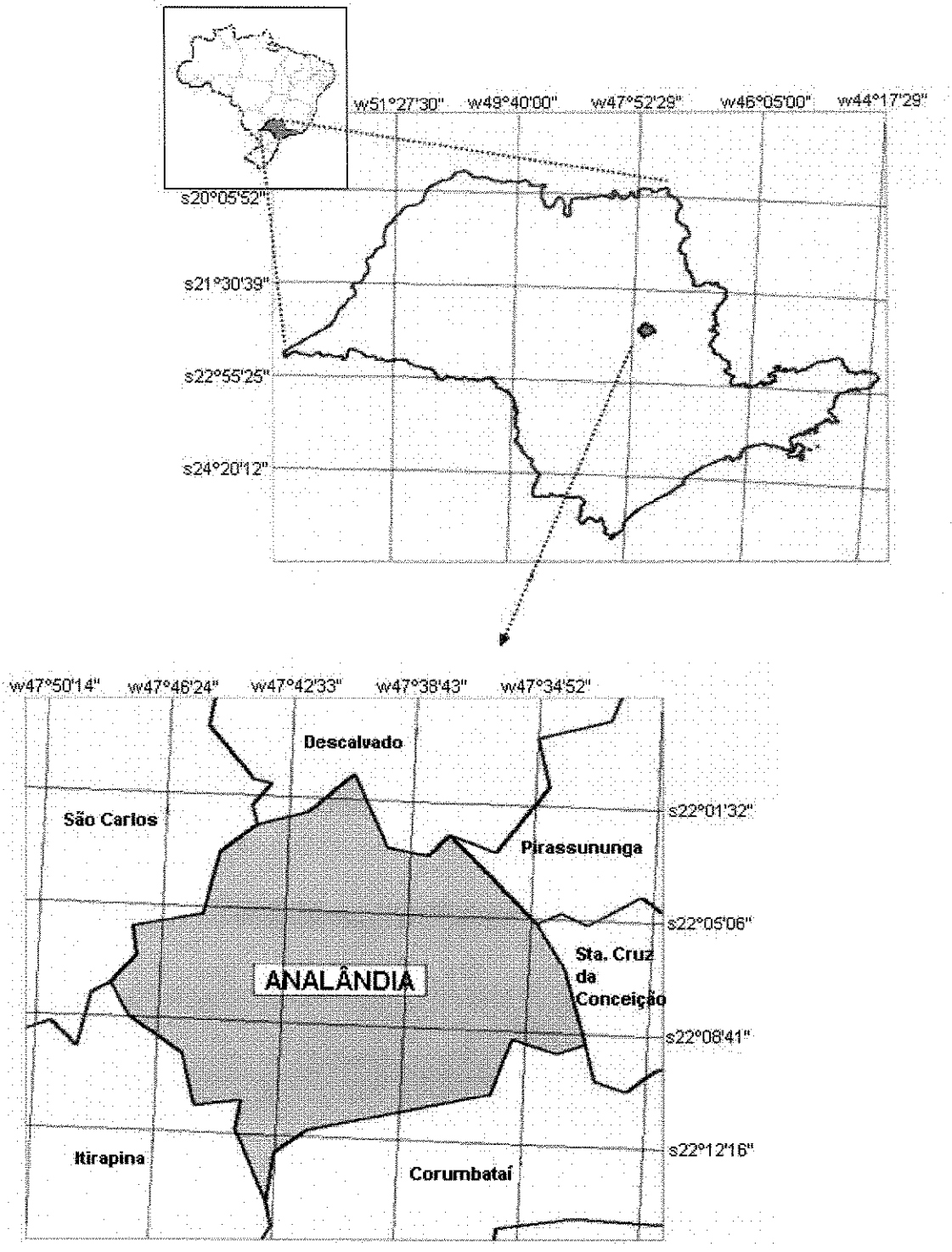


Figura 1 - *Localização do município de Analândia no Estado de São Paulo.*

1.1 Breve histórico do município

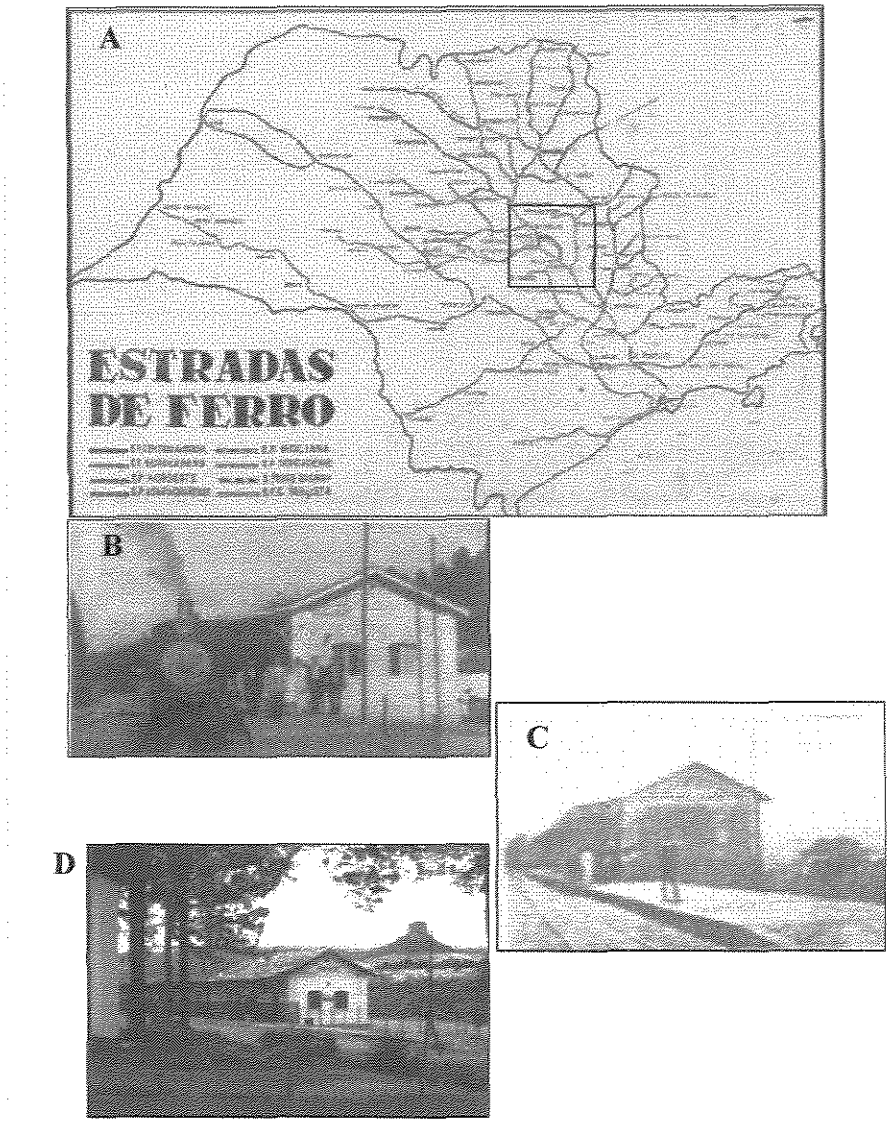
As maiores transformações na paisagem natural do interior paulista ocorreram entre os séculos XIX e XX, período em que a economia do país concentrava-se na atividade agrícola do café.

A marcha da cafeicultura iniciou-se no Estado de São Paulo, pelo Vale do Paraíba, região leste do estado, por volta do ano de 1790, onde permaneceu em franca atividade até meados do século XIX, quando gradativamente foi deslocando seu centro de maior produtividade para o interior do Estado. Embora o café estivesse sendo plantado em quantidades significativas na região de Rio Claro desde década de 1840, aproveitando-se da organização rural da atividade canavieira existente, foi só no final do século XIX que sua produção alcançou maior expressividade nesta região. A expansão em direção à região da Depressão Periférica Paulista e Planalto Ocidental se processou de forma bastante rápida, já que em apenas 40 anos, essas duas áreas superaram a produção do Vale do Paraíba em produtividade (Silva, 1978).

A expansão da cafeicultura teve efeitos desastrosos sobre as paisagens paulistas. Antes de se fazer o plantio, praticava-se a derrubada da mata e a queimada dos resíduos florestais. Assim, a cobertura vegetal de várias parcelas do interior do estado foi amplamente sacrificada.

O avanço da cafeicultura em direção à Depressão Periférica Paulista e Planalto Ocidental somente foi possível pela expansão ferroviária. As ferrovias desempenharam um papel fundamental na expansão dessa atividade agrícola e, conseqüentemente, no processo de produção do espaço geográfico. A ocupação de todo Planalto Ocidental Paulista iria se processar entre as décadas de 1900 e 1950. Todavia, antes mesmo deste período a ferrovia Santos-Jundiaí já atingia o município de Rio Claro em 1876, fazendo assim a chamada "ponta de trilho" e prenunciando o que estava para ocorrer nas próximas décadas. Assim, em menos de três anos este trajeto é ampliado, chegando até a vila de Annápolis (antigo nome da cidade de Analândia). Com a inauguração do trecho ferroviário entre as cidades de Rio Claro e São Carlos aos 15 de outubro de 1884 pela *Cia.* Rio-Clarense, a antiga Analândia recebia a estação ferroviária que inicialmente levava o nome de Cuzcuzeiro,

nome dado ao povoado ainda pertencente ao município de Rio Claro *(dados fornecidos pela prefeitura de Rio Claro)* (Figura 2).



Fonte: disponível no sítio: <http://www.estacoesferroviarias.com.br/ramais/cp-analandia.jpg>

Figura 2 - *Linhas férreas do Estado de São Paulo, A: ramal de Analândia 1935 em destaque; Foto da Estação Anápolis em três períodos: B- sem data , C- 1918 , D- 2001.*

A cafeicultura havia penetrado o interior do estado e se constituía no principal fator de impulso do desenvolvimento capitalista no Brasil. As relações de produção geradas em torno dessa economia se deram a partir de um conjunto de fatores, dentre eles: a implantação do sistema ferroviário, possibilitando uma maior articulação da produção,

escoamento e integração espacial; o estímulo dado à imigração estrangeira, formando um mercado de trabalho baseado em relações assalariadas e centrado principalmente na cafeicultura; e o crescimento urbano, que acompanhava o desenvolvimento do sistema comercial e industrial do Estado (Silva, 1978).

É neste contexto da economia cafeeira, em sua marcha para o oeste paulista, que nasce o município de Analândia:

> *Em 1887, Manoel Vicente Lisboa, proprietário da fazenda Santa Maria da Glória, na sesmaria do Cuscuzeiro, doou vinte alqueires de terra em um local meio em declive, porém cercado por diversos rios para o estabelecimento de uma povoação, fundada em 20 de outubro daquele ano, por Diogo Eugênio de Sales. Foi deliberado nesta ocasião a construção de uma Capela cuja pedra fundamental foi lançada a 23 do mesmo mês sob a invocação de Sant'ana, Padroeira da Povoação.*
>
> *Através da Lei Número 105, de 17 de dezembro de 1890, foi essa povoação elevada a Distrito da paz, até essa época denominada pelo seu nome primitivo, ou Cuscuzeiro, denominação essa oriunda do Pico que está a poucos quilômetros da cidade e situado em uma colina, que foi propriedade dos herdeiros do Barão de Araraquara, passou a chamar-se Anápolis em homenagem a padroeira da localidade. A vila de Annápolis, sede do município e do distrito do mesmo nome, foi elevada a categoria de cidade pela Lei estadual número 1038, de 19 de dezembro d 1906. Por força da Lei número 505, de 21 de junho 1897, foi esse distrito elevado a município sendo presidente do estado o Doutor Manoel Ferraz de Campos Salles.*
>
> *Pela Lei número 14.334, de 30 de novembro de 1944, foi mudada a denominação de Anápolis para Analândia, devido a dualidade de nome entre municípios.*
>
> (dados fornecidos pela prefeitura de Analândia)

Embora o oeste paulista tenha se tornado o vetor da produção cafeeira do início do século XX, as crises que atingiram esta economia não demoraram a acontecer. Mesmo com o café liderando a pauta de exportações durante toda a primeira metade do século XX, com a crise mundial de 1929, mudanças econômicas importantes começariam ocorrer, dentre elas, destaca-se o advento da industrialização. Assim, os espaços rurais começam gradativamente a se transformar, coordenados por mudanças ocorridas no cenário econômico mundial. Devido a maior competitividade e controle no mercado internacional, a produção do café começou a declinar substancialmente, sobretudo a partir da década de

1950, fazendo com que os espaços rurais menos rentáveis passassem a substituir os cafezais por outros tipos de culturas, (Silva, 1978).

A partir destas mudanças, a estrutura fundiária começou a se redefinir. Após a crise, o padrão de utilização da terra se transformou gradativamente e muitas propriedades do interior paulista foram subdivididas e vendidas em lotes a pequenos agricultores. Como resultado da formação de pequenas e médias propriedades que diversificavam a forma de utilização do campo, delineou-se uma nova paisagem cultural, fazendo-se notar no município de Analândia.

De acordo com dados fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), atualmente, a produção de café no município ocupa apenas 120 hectares, ao passo que, as lavouras de laranja e cana-de-açúcar cobrem respectivamente 2.250 e 2.000 hectares de terra, tal fato é reflexo das atuais mudanças da agricultura regional que hoje atende à demanda da produção de álcool, açúcar e suco concentrado.

Ao longo da história do município, a população pouco cresceu, fato que pode ser explicado pelo inexpressivo desenvolvimento das estruturas industriais e comercias capazes de atrair fluxos de imigração. Segundo relatório do SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados) de 2005, o número de habitantes é de cerca de 3.924, dividindo-se em 3.085 na área urbana e 839 na área rural.

Apesar da vocação turística favorecida pelas características naturais da região, a produção econômica concentra-se principalmente nas atividades agropecuárias, que passaram por uma diversificação nas últimas décadas. De acordo com dados do SEADE, em 2003, haviam 210 estabelecimentos rurais voltados, principalmente, para a pecuária de bovinos e de suínos e lavouras de laranja, cana-de-açúcar e café. É importante notar que, com o parcelamento das terras, cresceu o interesse por pequenos lotes que não estão propriamente vinculados a produção rural, mas sim às atividades de lazer. É possível identificar uma tendência voltada à economia imobiliária, que gradativamente encontra possibilidade de negócios com a venda de pequenas propriedades.

A atividade industrial é diminuta, conta com apenas 7 unidades divididas em quatro gêneros: extração mineral, vestuário, alimentícias e bebidas. 102 postos de trabalho formal advêm deste setor, que corresponde a 8.4% do total. O setor terciário emprega 275 pessoas,

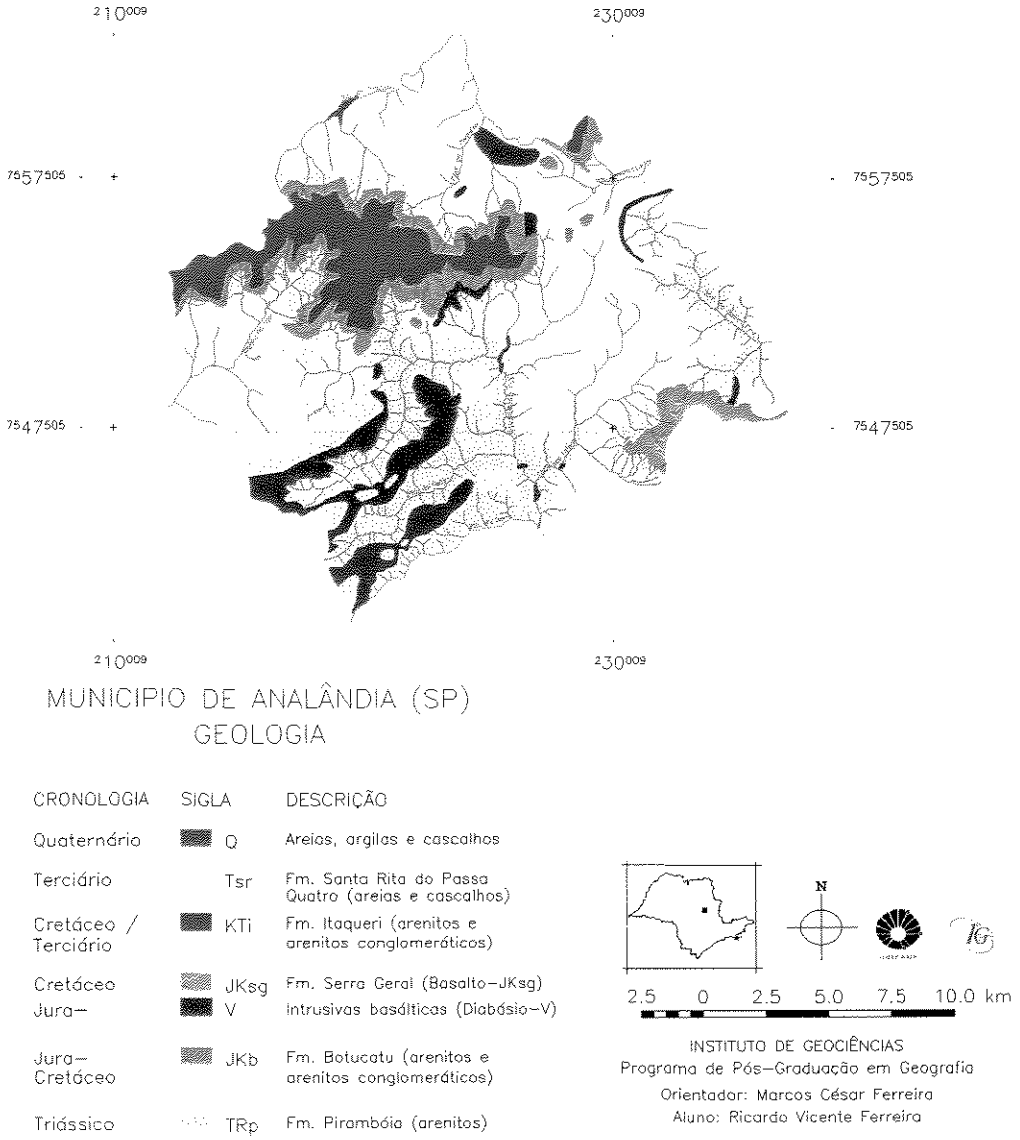
com 15 estabelecimentos comerciais e 9 prestadores de serviços, 22.8% dos empregos formais são gerados por atividades terciárias. A maior parcela da população economicamente ativa é empregada por outros setores, os quais geram 68.6% dos registros formais.

1.2 Geomorfologia, Geologia e Solos

A área de estudo é caracterizada pela paisagem morfológica correspondente ao setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista.

De acordo com Penteado (1976), a Depressão Periférica Paulista foi identificada pela primeira vez em 1927 por Pierre Denis e definida como faixa erosiva deprimida. É uma área paleozóica, deprimida entre as escarpas mais avançadas da zona das cuestas, que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos - com desníveis altimétricos da ordem de 200 a 300 metros - e o Planalto Cristalino Atlântico. De um modo geral, a topografia é pouco dissecada, com desníveis, em média, da ordem de 20-50 m. Predominam colinas de topo aplainado em patamares que variam de 550 a 700m, com suavidade de formas e horizonte amplo.

Na Depressão Periférica Paulista, interflúvios colinosos balizados pelas escarpas arenítico basálticas e morros testemunhos (diques e sills de basalto), apresentando terrenos basicamente areníticos, permeáveis e friáveis, suscetíveis a processos erosivos (Mapa 1). Tal paisagem é caracterizada pelas formas oriundas da circundesnudação da borda oeste da bacia sedimentar do Paraná, que confere padrões de relevos típicos. As morfoesculturas menores são de planaltos tabulares com vales encaixados, vertentes abruptas resistentes à erosão e morros testemunhos. De modo geral a dinâmica fluvial é responsável por formações em vales profundos, ocorrentes em terrenos arenosos. O confronto com lages basálticas fez com que a dinâmica geomorfológica produzisse uma paisagem diferenciada, apresentando um alargamento limitado das bacias de drenagem devido a litologia mais resistente do basalto que hoje se manifesta em vertentes abruptas (Christofoletti; Queiroz Neto, 1968).



Fonte: IG, 1985

Mapa 1- *Mapa da geologia de superfície do município de Analândia (SP)*

O desnível inter-planáltico entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental é bem definido geomorfológicamente. Localmente, as escarpas basálticas do planalto situadas a norte e oeste, recebem diferentes nomes. Dentre eles, os de maior significado para a área de estudo, são: a Serra do Cuscuzeiro e o Morro Grande, com cimeiras em patamar médio de 1000 metros de altitude; e a Serra de Santana, em superfície intermediária à cimeira e às interplanálticas, apresenta médias altitudinais de 850 metros de altitude (Penteado, 1976).

No nível situado entre 600 a 630 metros, os interflúvios são capeados por sedimentos arenosos do rio Corumbataí e seus pequenos afluentes. De acordo com Ab'Saber (*apud* Penteado, 1976) este rio é considerado como recente-subsequente, com traçado controlado pela tectônica de falhamento pós-cretácea que afetaram a região. Segundo evidências climáticas e geológicas, essa rede de drenagem teria participado de toda a história de escavação e pediplanação do compartimento interplanáltico desta província geomórfica.

De acordo com o mapeamento pedológico realizado pelo Instituto Agronômico, Divisão de Solos e Seção Pedológica da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo (1985), que abrange o Município de Analândia, foram identificadas oito classes de solo no perímetro do município (Tabela 1).

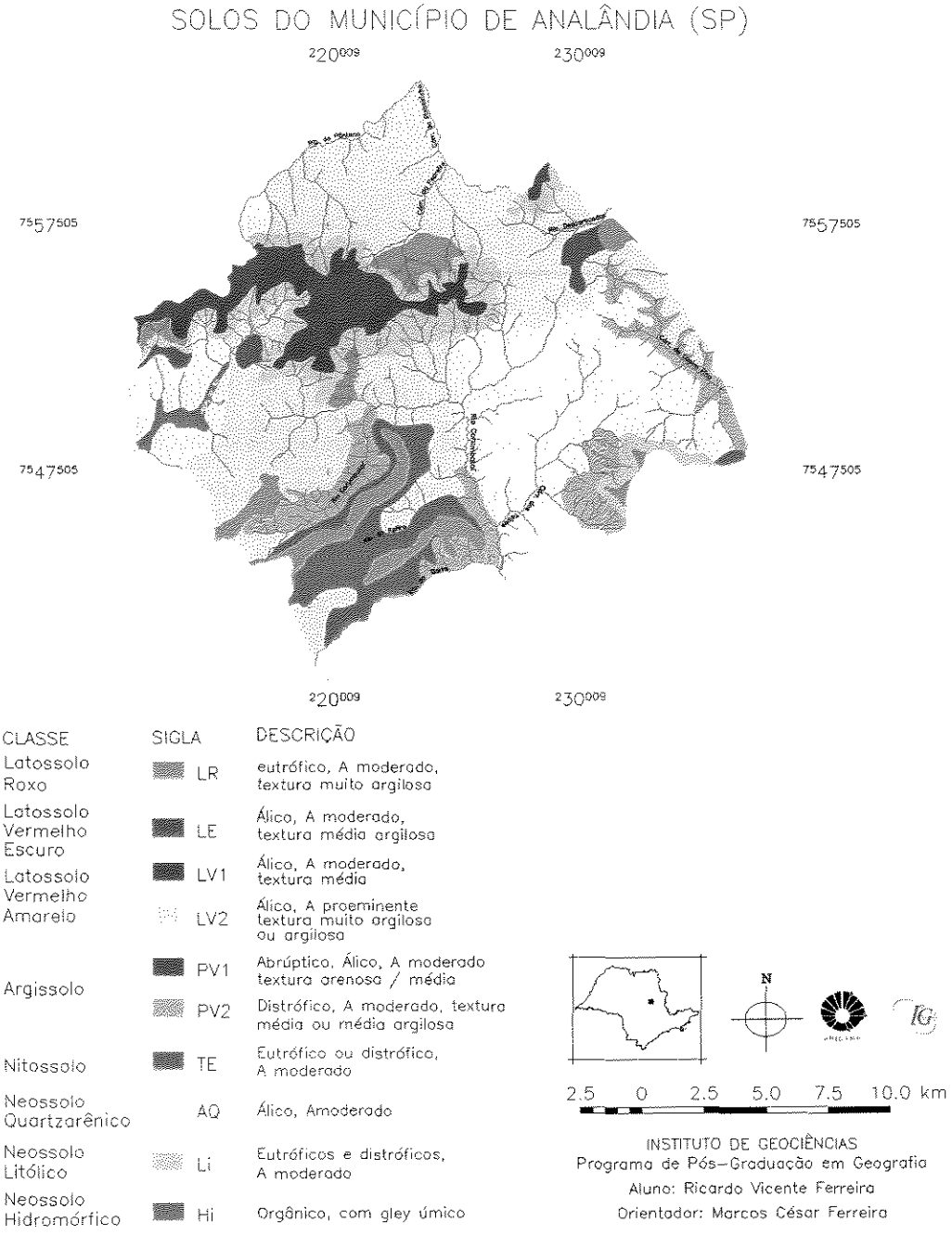
Tabela 1 – *Tipos de solos predominantes no município de Analândia – São Paulo*

Descriminação	**Nomenclatura**	**Área ocupada**	
		Km^2	%
Neossolo Quartzarênico (Areias Quartzosas)	AQ	82.98	25.33
Neossolo Litólico	Li	27.84	8.50
Latossolo Vermelho Amarelo (textura média)	LV - 1	16.12	4.93
Latossolo Vermelho Amarelo (textura argilosa)	LV - 2	110.95	33.87
Latossolo Vermelho Escuro	LE	4.79	1.46
Latossolo Roxo	LR	22.17	6.76
Argissolo (Podzólico Vermelho Amarelo)	PV	37.65	11.49
Nitossolo (Terra Roxa)	TE	22.44	6.84
Vertissolo (Hidromórfico)	Hi	2.70	0.82
Total	--	**327.64**	**100,00**

Fonte: adaptado de Oliveira & Prado (1984)

Na área correspondente à Depressão Periférica, predominam Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos. No *front* das cuestas a alta declividade favorece a

formação de Neossolos Litólicos de textura argilosa. No topo e reverso da cuesta predominam Latossolos Vermelho-Escuro, Nitossolo e Latossolo Roxo (Mapa 2).



Fonte: IAC, 1984

Mapa 2 – *Mapa pedológico do município de Analândia (SP)*

Por serem considerados solos em vias de formação, os **Neossolos Quartzarênicos**, caracterizam-se por apresentar pouca evolução pedogenética e ausência de horizonte B diagnóstico.

São solos profundos, se estendendo em espessuras que podem chegar a 200 cm sem contato lítico. Desenvolveram-se sobre material de origem arenosa e por esse motivo apresentam horizonte superficial fraco ou moderado, estabelecendo-se sobre um regolito inconsolidado pouco diferenciado em seu horizonte C. O quartzo que compõe as areias perfaz 70% ou mais de sua fração, ao passo que, a fração de argila é menor do que 15%, portanto, são solos muito pobres em nutrientes e com baixa capacidade de retenção e de água.

Os neossolos quartzarênicos de Analândia estão, em sua maior parte, associados à formação Santa Rita do Passa Quatro, com predomínio de areias e cascalhos. O relevo desta formação caracteriza-se por suave ondulado, localizado na Depressão Periférica.

De um modo geral, os **Neossolos Litólicos** se caracterizam por apresentar pouca expressividade quanto aos processos pedogenéticos. Sua diferenciação horizontal é pequena, em muitos casos apresentam horizonte superficial diretamente em contato com a rocha (A-R), quando há formação de horizonte B e/ou C, são de pequena espessura e no caso do B não é possível caracterizá-lo como horizonte B diagnóstico, pois é muito pouco espesso (inferior a 40cm). São solos provenientes do basalto ou diabásio e do arenito metamorfizado associado às escarpas da Formação Serra Geral.

Na área de estudo, os Litólicos predominantes estão associados ao substrato de diabásio, sendo eutróficos, apresentando horizonte A moderado ou chernozênico e textura argilosa. Estes solos limitam a atividade agrícola, principalmente pela pequena espessura do perfil e por estarem associados a altas declividades localizadas predominantemente na borda e no *front* das cuestas, portanto em relevo bastante acidentado.

Os Latossolos se caracterizam por serem solos em avançado estágio de intemperização, portanto, muito evoluídos e profundos. Dentre suas particularidades, está o fato de apresentarem pouca diferenciação entre os horizontes constituintes, que se manifesta inclusive na pequena variação de teor de argila entre os horizontes A e B, não satisfazendo,

por sua vez, a relação B textural; são solos bem drenados e ácidos, típicos das regiões tropicais.

Num segundo nível categórico, os latossolos podem ser subdivididos em classes que permitem individualiza-los no contexto dos processos dominantes da paisagem. Essas subdivisões são feitas, principalmente, a partir de variações encontradas dentro do conjunto do relevo e geologia ocorrente na área. Em Analândia os Latossolos Roxo, Vermelho-escuro e Vermelho-amarelo estão associados a áreas de relevo suave ondulado ou plano e geologia composta por rochas básicas (basalto e diabásio) e metamórficas (arenitos).

Os **Latossolos Roxo** são formados a partir de materiais provenientes do intemperismo de rochas básicas. Na área de estudo os substratos associados a esta formação são de basaltos e diabásios. Geralmente, esses solos atingem vários metros de profundidade, apresentando textura argilosa ou muito argilosa com menos de 10% de areia grossa.

Os **Latossolos vermelho-escuro** em geral possuem cores vermelho-escuras e bruno-avermelhado-escuras. Na área os solos desta classe são de texturas médias, resultantes do intemperismo e retrabalhamento de arenitos com contribuição de rochas básicas.

Na região, os **Latossolos vermelho-amarelos** aparecem em pequenas manchas. Apresentam textura média com predominância de areias grossas sobre a fina, são solos muitos profundos, resultantes do intemperismo dos arenitos.

Os **Argissolos** caracterizam-se por possuírem textura arenosa em superfície e média em sub-superfície. São solos que se desenvolvem sobre arenitos da Formação Botucatu/Pirambóia e apresentam cor bruno-escura na camada superficial. Diferentemente dos latossolos, a transição entre os horizontes que o constitui é nítida, ocorrendo inclusive horizonte diagnóstico - B textural; são moderadamente profundos a profundos e ocorrem em relevo ondulado dissecado com drenagem moderada.

Os **Nitossolos** apresentam horizonte B textural derivado de rochas básicas. Sua característica diferencial está no fato de serem profundos, apresentarem subsuperfície de textura argilosa a muito argilosa e ocorrer em relevo ondulado a forte ondulado. Estão localizados nas adjacências dos solos litólicos de substrato basáltico que dão origem a relevos muito movimentados e escarpados que caracterizam a Formação Serra Geral.

Os **Vertissolos** compreende uma classe de solo cuja característica principal é a presença de horizonte *glei* localizado a menos de 80 cm de profundidade. Esta formação é, em geral, resultante da proximidade do lençol freático à superfície. Pelo fato de estarem associado à planície aluvionar, apresentam grande variação textural ao longo do perfil, desde arenosa até argilosa. Esta classe perfaz uma pequena mancha a oeste do município, junto às formações terciárias, podendo ser encontrado nas vertentes do Ribeirão o Feijão (Oliveira; Prado, 1984; EMBRAPA, 1999).

1.3 Hidrografia e vegetação

A bacia hidrográfica do Rio Corumbataí tem suas cabeceiras situadas em território analandense, localizadas nas cuestas da Formação Serra Geral, que perfaz toda porção sudoeste, sudeste e central do território.

De acordo com Penteado (1976), a drenagem do Alto Corumbataí é mais concentrada, sendo a rede de afluentes da margem direita, orientada para a depressão periférica, muito mais densa e longa. Em seu alto curso esses afluentes surgem entre 640 e 690 metros, em faces da base das escarpas e plataformas interflu-areno-argilosa conglomerática do arenito Botucatu.

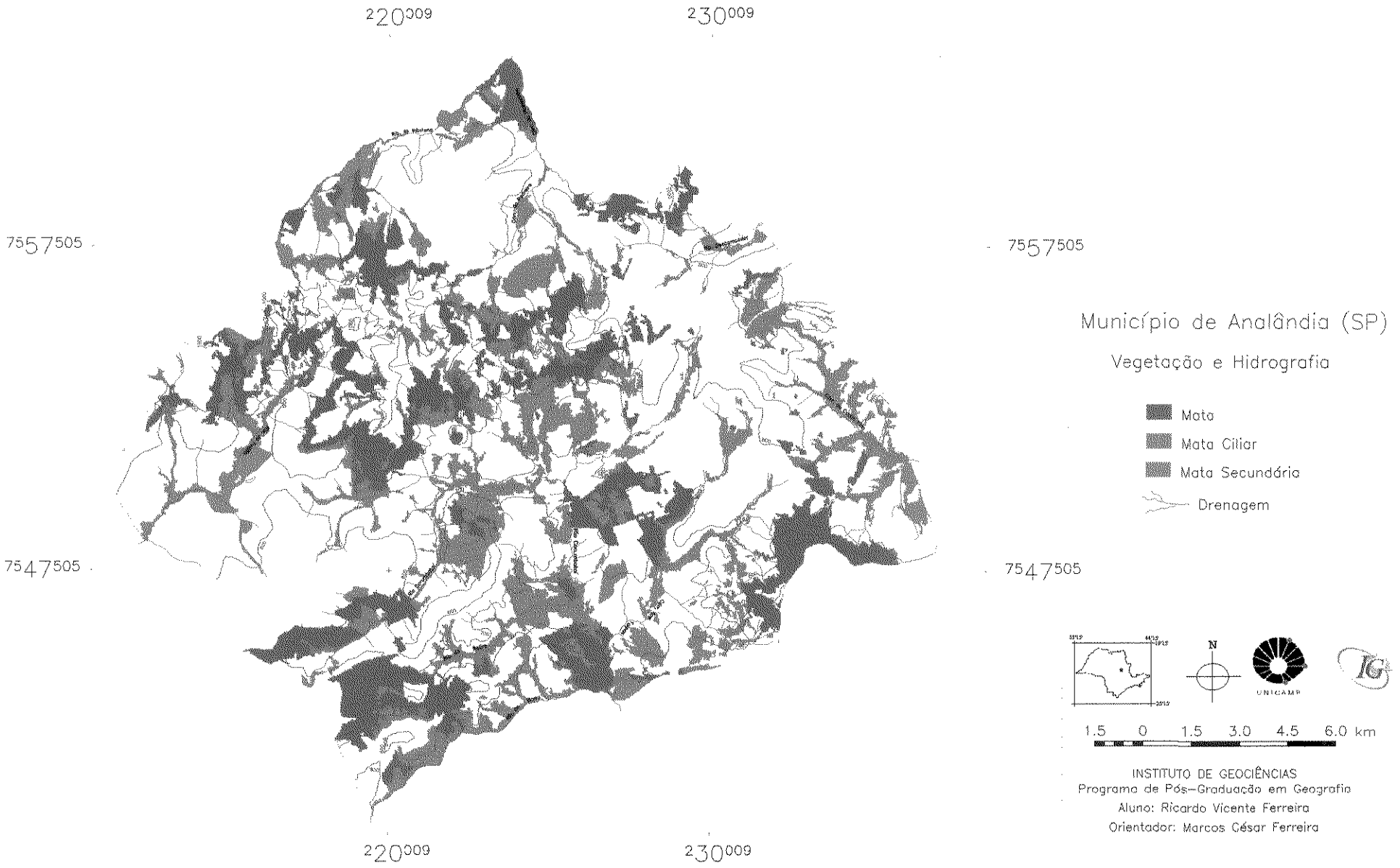
Segundo Moraes (1985), no que tange a utilização destas águas pela atividade antrópica, a região das cuestas da Formação Serra Geral, no perímetro que acompanha o alto curso do Rio Corumbataí, apresenta uma rede hidrográfica que, apesar de bem desenvolvida, é relativamente pouco explorada no que concerne à utilização para fins de abastecimento público, irrigação e recreação.

Todavia, o Rio Corumbataí se encontra em fase de degradação em alguns trechos devido ao lançamento de esgoto urbano e ausência de medidas de proteção. A administração pública de Analândia adota medidas mitigadoras, desviando a canalização de esgoto dos principais cursos d'água, garantindo com isso somente a qualidade local das águas. Já em seu médio curso as águas destinadas ao abastecimento doméstico só é possível após tratamento convencional.

No passado, a vegetação primitiva era caracterizada, principalmente, por campos cerrados e cerradões. Esta vegetação era constituída por uma cobertura herbácea mais ou

menos contínua e um dossel descontínuo de elementos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e folhas espessas. Oliveira e Prado (1984) apontaram que os solos da totalmente modificadas, pouco restando do revestimento natural dos cerrados e campos das partes mais elevadas do relevo tabular cujas características são os latossolos e os arenitos (Penteado, 1976).

A vegetação primária, em muitos locais, foi substituída por pasto, culturas perenes, semi-perene (cana-de-açúcar) e silvicultura recentemente. As áreas com vegetação relativamente preservada localizam-se, principalmente, em áreas que apresentam altas declividades como, por exemplo, no *front* das cuestas e proximidades. Esta vegetação guarda poucas características com os antigos domínios dos cerrados existentes antes do desmatamento. Localizadas nas encostas das vertentes e fundos de vale, o sombreamento e umidade diferenciada produzem uma mata mais densa nestes locais (Mapa 3).



Fonte: - IBGE, 1971 (Carta do Brasil – folhas Corumbataí e São Carlos); ETM+/Landsat (órbita/ponto 220/2001; data: 23/03/2001)

Mapa 3 – Mapa da cobertura Vegetal do município de Analândia (SP)

1.4 Clima

O regime de chuvas desta porção do território paulista é típico das regiões tropicais, com período chuvoso no verão e seco no inverno, determinado pela dominância de duas massas atmosféricas: no verão, a massa equatorial tropical e no inverno a massa polar atlântica. Embora a abrangência de tipos climáticos seja vasta, ocupando extensa área do Brasil, sua compreensão permite contextualizar, entretanto, esta porção do território do Estado de São Paulo no âmbito regional.

As características morfológicas da área permitem a penetração e atuação de duas correntes atmosféricas de origem e características bastante diferentes que são definidas em função dos sistemas tropicais e dos sistemas polares. A posição geográfica faz com que o sistema polar assuma características atenuantes, impedindo que perturbações atmosféricas significativas na região venham a ocorrer.

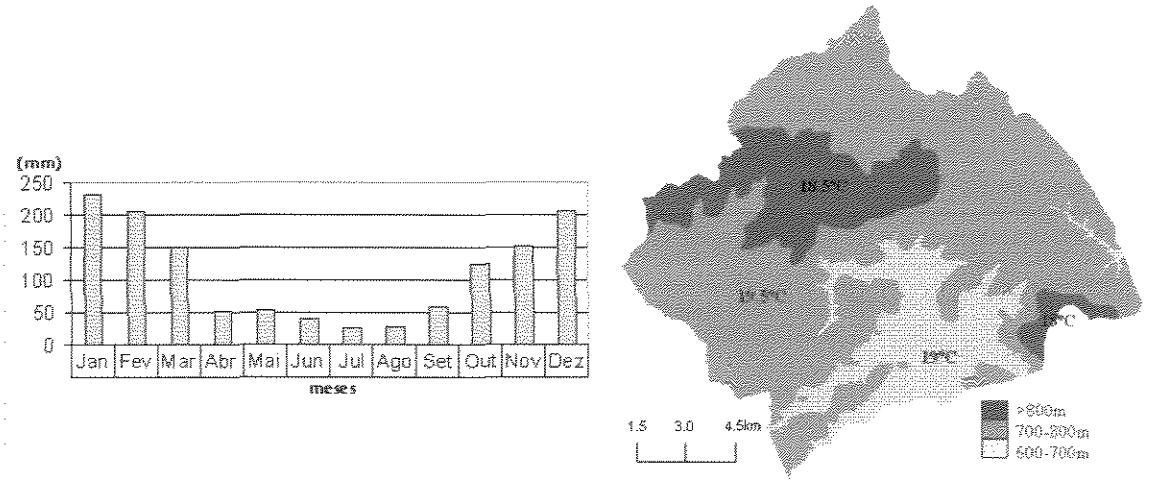
De acordo com Brino (1973), as principais características climáticas da área de estudo podem ser entendidas a partir da consideração dos elementos climáticos em sua distribuição no tempo e no espaço. Neste sentido, um panorama que abranja a porção centro ocidental da Depressão Periférica Paulista em contato com trecho do Planalto Ocidental do Estado de São Paulo pode oferecer explicações gerais à compreensão da dinâmica climática local.

O aspecto morfológico da região tem grande importância na caracterização climática local, sendo assim um fator natural de grande significado. As diferenças altimétricas encontradas na área são distintas para a porção da Depressão Periférica – que apresenta cotas que variam de 500 a 700m (exceção dos morros testemunhos) - e para a parte que compõe o trecho do Planalto Ocidental com cotas entre 700 e 800m.

As variações das temperaturas médias anuais têm uma estreita relação com o domínio morfológico da paisagem. Características particulares foram observadas para a Serra do Cuscuzeiro e Morro Grande, apresentando médias em torno de 18,5°C (Figura 3)

Na região, mais de 80% das precipitações anuais ocorrem entre os meses de Outubro e Março. Em Janeiro verificam-se os mais elevados totais de precipitação, podendo ocorrer índices superiores a 215 mm.

O período seco ocorre entre Abril e Setembro, mantendo uma média de 42.5 mm para este período. Particularmente em Analândia, a média pluviométrica anual é de 1328 mm e os meses mais secos (Julho e Agosto) apresentam média superior em relação à região como um todo (30,9 mm) (Figura 3).



Fonte: DAEE, média aritmética dos dados referentes ao período de 1937/2004. Posto D4-035 (altitude 660m; coord 22°08's/47°40'w); Brino (1973).

Figura 3. *Esboço climático do município de Analândia (SP): Média pluviométrica mensal e variabilidade térmica média segundo os níveis altimétricos.*

Alguns fenômenos climáticos são observados nesta região como, por exemplo, a ocorrência de geada, granizo e nevoeiro. As geadas são mais ocorrentes na porção sul da Bacia do Corumbataí, sua freqüência é esporádica, de um a dois dias por ano, sendo favorecida por características morfológicas – áreas planas e vales largos – e posição latitudinal, que praticamente perfaz a transição para o clima subtropical. O granizo é também esporádico e quando ocorre coincide com o inverno e início da primavera, seu principal efeito é sobre as culturas anuais, podendo resultar em prejuízos na produção agrícola pela danificação das lavouras. A formação de nevoeiro é mais freqüente nos patamares mais rebaixados do relevo, acompanhando principalmente na calha do rio Corumbataí e fundo de vales e ocorrendo mais entre os meses do outono e inverno.

1.5 Unidades de Conservação e Áreas de Proteção Ambiental

A criação de unidades de conservação no Brasil deve ser entendida no contexto histórico das políticas voltadas para o meio ambiente ocorridas dentro e fora do país, bem como, a partir da compreensão de como se definem as principais diretrizes que coordenam os usos no interior das unidades de conservação existentes hoje.

Em todo mundo, a criação de áreas protegidas tomou grande impulso a partir das décadas de 1970 e 1980. Neste período, governos e especialistas se voltaram às questões de conservação, sendo motivados, principalmente, por problemas ambientais de ordem global. As preocupações em torno desta temática cresceram juntamente com as primeiras reuniões internacionais sobre meio ambiente, das quais convém destacar a Conferência da Biosfera, promovida pela Unesco em 1968. Tal encontro contou com grande número de especialistas da área ambiental e científica, onde foram discutidas questões de uso e conservação dos recursos naturais (Diegues, 1996).

Para as Nações Unidas, a questão ambiental passava a se tornar um tema prioritário. Desde então, a criação de áreas naturais protegidas passou caminhar a passos largos em todo mundo, sobretudo nos países pobres. Como indicam os números, do total de parques nacionais criados a partir da segunda metade do século XX, mais de 70% se localizavam em países subdesenvolvidos.

As conferências internacionais que sucederam ao longo das últimas décadas do século XX foram também permeadas por discussões que punham em conflitos os interesses dos países desenvolvidos e subdesenvolvidos acerca das políticas ambientais a serem implantadas e debatidas. Ao longo deste período, problemas ligados à questão do desmatamento de ecossistemas naturais, à perda da biodiversidade, à poluição de recursos hídricos, entre outros, tornaram-se pauta de discussões permanentes. Tal debate passou a envolver não apenas governos e organizações supranacionais, mas a própria sociedade civil, em torno de fóruns de discussões voltadas para a obtenção de soluções aos problemas da ordem ambiental, que poderiam advir, principalmente, a partir de recursos e investimentos financeiros.

Os países desenvolvidos propunham que prioridades deveriam ser dadas às florestas tropicais úmidas, dado à diversidade biológica ali presente. Assim, os esforços deveriam

estar direcionados a estes locais, no sentido de se garantir que os espaços naturais ainda existentes fossem mantidos. Desde então, a criação de unidades de conservação passou a se tornar um artifício para facilitação ao acesso às linhas de crédito externas junto a órgãos internacionais e governos engajados na problemática ambiental, sobretudo, nos países subdesenvolvidos, detentores de espaços naturais de "interesse primordial" à conservação.

Assim, disponibilidade de fundos para a preservação da natureza trouxe consigo a possibilidade de geração de renda através da criação de parques e atividades turísticas. Nos países subdesenvolvidos, dada a existência de importantes áreas de interesse à preservação, a vinculação destes territórios ao potencial financeiro capaz de ser gerado, despertou o interesse político local às questões relativas à conservação.

A atuação do poder público no que diz respeito à proteção do meio ambiente permaneceu durante muito tempo praticamente nula. Embora no final do período colonial e início do Brasil Republicano, houvessem alguns poucos códigos estaduais de proteção às florestas, os donos de terras tinham praticamente poderes absolutos sobre estas.

Somente na década de 1930 houve alguma atuação do poder público frente à proteção do patrimônio ambiental, não só motivado por entidades ambientalistas, mas também porque muitos países latino-americanos já haviam tomado alguma iniciativa neste sentido. Nesta mesma década foi promulgado o Código Florestal, por iniciativa do governo federal, onde se estabeleceu que os governos estaduais e municipais deveriam criar suas próprias unidades de conservação e também onde se propunha as bases para a criação dos primeiros parques nacionais. Embora o Código Florestal não tivesse se mostrado instrumento eficiente no sentido de evitar a devastação dos ecossistemas brasileiros, na década de 1930 surgiram os primeiros parques nacionais, dentre eles o Parque Nacional de Itatiaia, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos e o Parque Nacional do Iguaçu (Brito, 2000).

Somente em 1965 haveria uma reformulação do Código Florestal trazendo consigo mudanças que poderiam representar algum avanço no que diz respeito à regulamentação do uso da terra. As novas diretrizes separavam as unidades de conservação em duas categorias: as de uso direto, onde não se permitia a exploração dos recursos naturais, e as de uso indireto, nas quais as atividades econômicas poderiam existir, desde que controladas pelo poder público.

Na década de 1970 a política ambiental praticada no país apresentou-se bastante conturbada, como por exemplo, a existência de dois órgãos responsáveis pelas políticas de proteção ambiental: o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e a Secretaria Especial do Meio Ambiente, cabendo a ambas as mesmas atribuições. Somente com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (Ibama), em 1989, é que a jurisdição ambiental brasileira passou a ser melhor coordenada, sobretudo quando, a partir do ano de 2000, este órgão implementou e passou a coordenar o Sistema nacional de Unidades de Conservação (Snuc), tendo por objetivo a articulação de todas as Unidades de Conservação (UC's) do país em torno de diretrizes, objetivos e princípios comuns.

De acordo com Diegues (1996), o período em que mais se criou unidades de conservação no Brasil correspondeu às décadas de 1970 e 1980, coincidindo assim com as mudanças processadas no âmbito internacional. Assim como na maioria dos países subdesenvolvidos, os interesses econômicos voltados à manutenção da política externa refletiam-se nas mudanças ocorridas em torno da política ambiental. Neste período a situação de endividamento junto a organismos supranacionais - como o Banco Mundial e o BID – gerou uma condição de dependência frente aos interesses políticos destes mesmos órgãos. Indiretamente, o país se viu forçado a adotar uma postura positiva frente à criação de cláusulas de conservação ambiental.

Segundo o Atlas ambiental do Estado de São Paulo (2000), a idéia de se criar unidades de conservação tem em vista, em primeira instância, proteger do patrimônio natural e cultural do país, tendo o poder público como principal definidor e executor de propostas. A criação de Unidades de Conservação é tida como uma forma de melhor preservar, conhecer e divulgar o patrimônio cultural, histórico e natural. De acordo com Nandes (2002), estas unidades oferecem condições naturais de importância ambiental e ecológica que necessitam de normas especiais de proteção.

1.5.1 Área de Proteção Ambiental - APA

A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma categoria de Unidade de Conservação, entendida como ambiente de uso múltiplo onde se propõe conciliar as atividades humanas à proteção natural, não sendo necessária a desapropriação na área.

A Constituição Federal brasileira, através do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), define unidade de conservação como sendo:

> "Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção";

Segundo este órgão as Unidades de Conservação se dividem em dois grupos, cada um com características específicas:

I - Unidades de Proteção Integral: de uso indireto de seus recursos naturais

II - Unidades de Uso Sustentável: compatibiliza a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

Dentre as categorias que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável está a Área de Proteção Ambiental - unidade de conservação que pode ser constituída por terras públicas ou privada.

A origem das Áreas de Proteção Ambiental está na Lei Federal nº 6.902, de 27 de Abril de 1981, que as instituiu como UC's. Por meio desta lei, o poder executivo pode declará-las com propósito de assegurar o bem-estar das populações humanas e manter ou melhorar as condições ecológicas de determinados locais do território nacional.

Na definição do SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação - as APA's são áreas submetidas ao planejamento e à gestão ambiental e se destinam à compatibilização de atividades humanas com a preservação da vida silvestre, a proteção dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida da população local. Estas áreas podem ser declaradas tanto em propriedades públicas como em propriedades privadas. Nelas, as atividades econômicas são permitidas dentro de parâmetros determinados em diretrizes jurídicas.

Pela resolução CONAMA/nº 010 de 14 de dezembro de 1988, as Áreas de Proteção Ambiental são unidades destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, tendo por objetivo a melhoria da qualidade de vida da população local e também visando à proteção dos ecossistemas regionais. Para que isso se

concretize, terão que ter zoneamento ecológico-econômico que estabeleça as normas de uso local, devendo estar de acordo com as condições bióticas, geológicas, urbanísticas, agro-pastoris, extrativistas, culturais, entre outras. Segundo SNUC quando estabelecido o plano de manejo, todas as APA'S deverão ter zonas de vida silvestre, as quais devem ser integralmente preservadas. Pelo CONAMA (1988) nas zonas de vida silvestre será proibido ou regulado o uso dos sistemas naturais.

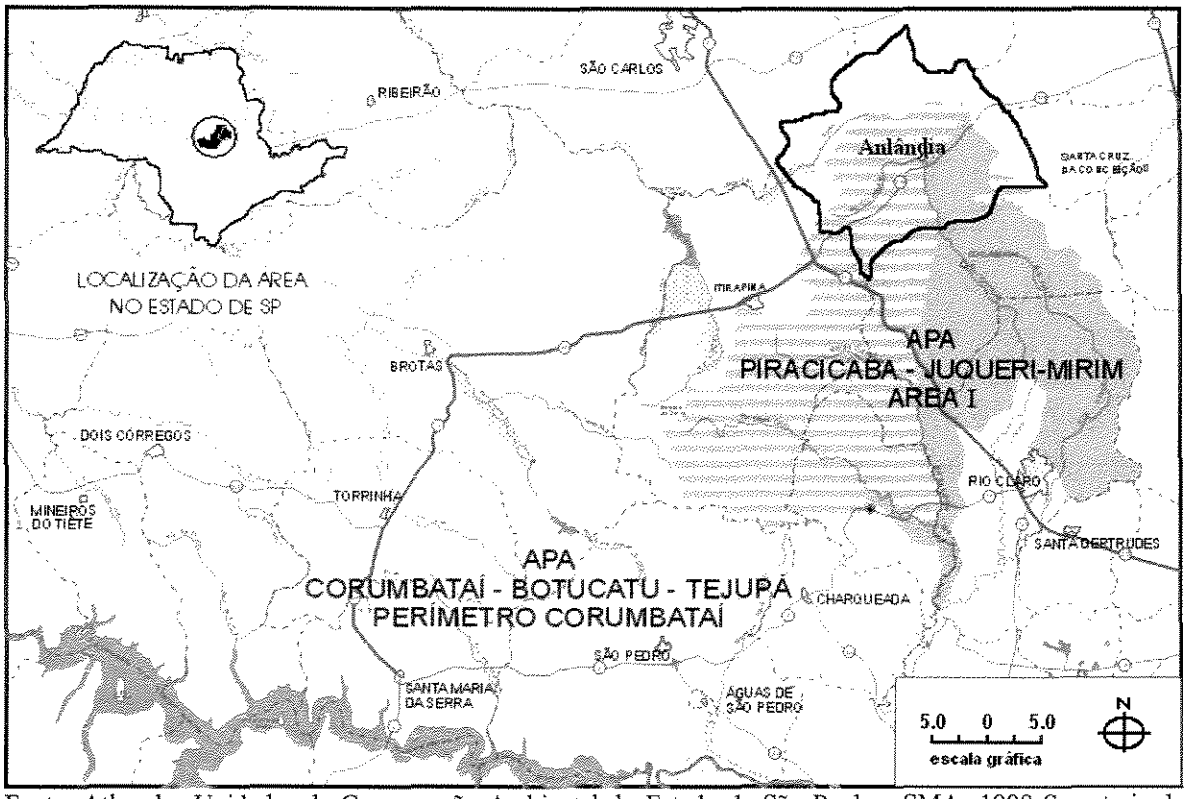
Segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, a regulamentação das APA's deve se fundamentar em três pontos principais: 1- Zoneamento ambiental, através da identificação e delimitação de áreas homogêneas; 2 - Estabelecimento de normas de uso e ocupação do solo, dentro do que for estabelecido para cada zona ambiental; 3- Gestão da APA, através de um colegiado gestor que seja assegurado pela participação do estado, município e sociedade civil (Atlas ambiental do Estado de São Paulo, 2000).

As unidades de conservação de uso sustentável podem estar sujeitas às modificações de sua condição jurídica ambiental, podendo ser transformadas total ou parcialmente em unidades de proteção integral. Ainda neste sentido, as propriedades particulares poderão sofrer mudanças, caso sejam revistas as propostas de ordenamento territorial, podendo ser restabelecidas normas e restrições a utilização de seus recursos, que neste caso, serão sempre precedidos de estudos técnicos e consulta pública para que se alcance validade jurídica.

O fato das Áreas de Proteção Ambiental ser de uso múltiplo faz com que a questão do zoneamento seja algo de importância primeira, uma vez que é a partir deste que se estabelecem as condições de apropriação dos recursos disponíveis.

2.5.1.1 APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá

Esta área de proteção foi criada em 1983, através do Decreto Estadual nº 20.960. Representa uma ampliação da área da APA Piracicaba–Juqueri-Mirim por acrescentar porções dos Municípios de Descalvado, Pirassununga e a totalidade de águas de São Pedro. Incluiu ainda áreas de mananciais do Município de Itirapina, Brotas, Mineiros do Tietê, Dois Córregos, Torrinha, São Carlos, Analândia, São Pedro e Charqueada (Mapa 4).



Fonte: Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo - SMA -1998 Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental

Mapa 4 - *Localização da APA Corumbataí, Botucatu, Tejupá: perímetro Corumbataí.*

Caracterizados pelas cuestas basálticas da Depressão Periférica do Estado de São Paulo, os três perímetros da APA apresentam grande similaridade quanto aos aspectos fisiográficos.

A APA Corumbataí Botucatu-Tejupá foi criada para proteger a Cuestas Basálticas, os remanescentes de vegetação de Cerrado e Mata Atlântica e as áreas de recarga do Aqüífero Guarani. Como unidade de uso sustentável, tem sua base econômica centrada principalmente no reflorestamento, na pecuária e agricultura e, recentemente, se tornado um novo pólo de citricultura.

No perímetro Corumbataí está localizada, parcialmente ou totalmente, as áreas dos municípios de Dois Córregos, Santa Maria da Serra, Itirapina, Corumbataí, Analândia, Torrinha, Brotas, São Carlos, Ipeúna, Rio Claro e Barra Bonita.

Uma das características peculiares desta APA é o fato de estar em uma região onde aflora o aqüífero Guarany. De acordo com o Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo (2000), 33% da área de afloramento deste reservatório abrange os três perímetros desta APA. Como na região os solos de areia quartzosas são freqüentes, o abastecimento do lençol é favorecido pela permeabilidade deste ambiente, armazenando as águas pluviais, em contrapartida, são terras onde a vulnerabilidade e suscetibilidade aos processos erosivos se tornam fato presente.

A drenagem da região está associada à Bacia do Rio Piracicaba, onde parte de suas nascentes se localizam no relevo das Cuestas Basáticas, ou seja, estes rios têm sua origem em terrenos acidentados, muitas vezes apresentando patamares abruptos, possibilitando a formação de quedas d´água e fornecendo uma paisagem de significativo viés turístico.

O perímetro da APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá abrange áreas das bacias do Piracicaba, Jacaré Pepira e do Jaú e um pequeno trecho da bacia do Mogi Guaçu. A área de estudo, está localizada na sub-bacia Corumbataí ou Alto Corumbataí, cujo rio principal recebe mesmo nome.

As formações vegetais remanescentes correspondem aos cerrados, cerradões e matas ciliares. Grande parte da área é utilizada para a criação extensiva de gado bovino, plantações de café, cana-de-açucar, laranja e pinus de eucalipto. Remanescentes de vegetação original e capoeira se distribuem em manchas isoladas, principalmente, nas vertentes e escarpas das Cuestas Basálticas e nos fundos de vales.

Em geral, estas características ambientais conferem a esta APA, importante valor de preservação, pois são atributos naturais e paisagísticos particulares que se expressam na forma de unidades geográficas que abrigam ecossistemas. Na pesquisa desenvolvida por Moraes (1985), abrangendo toda área da APA[1], foi identificado à ocorrência de dez importantes ecossistemas associados a formações geomorfológicas (biótopos) específicas. Vale notar que oito destes biótopos ocorrem no município de Analândia.

Moraes (*op. cit.*) salienta que as intervenções antrópica na Área de Proteção Ambiental têm ocasionado graves impactos no terreno devido ao manejo agrícola inadequado, a expansão de loteamentos, a exploração dos recursos minerais e abertura de vias de

[1] Na época recebendo o nome de Área de Proteção Ambiental das Cuestas de São Pedro e Analândia.

circulação. Neste processo de transformação humana, características do ambiente físico não são levadas em conta, tal como os depósitos coluvioanares arenosos, cuja alta suscetibilidade à erosão pode provocar mudanças ambientais indesejadas. O reflexo de tais interferências pode ser observado em muitos locais da área, manifestando-se principalmente na forma de ravinamentos, assoreamento dos cursos d'água e desmatamento em posição de declive.

Hipoteticamente, é possível se inferir que, pelo fato do município estar inserido numa APA, seria mais significativo como atividade econômica a implantação de um projeto turístico que não promova alterações ambientais significativas. Acredita-se que isto possa ser viabilizado através de estudos prévios coordenados por metodologias que se apliquem adequadamente à investigação do meio ambiente, considerando os diferentes fluxos de energia e matéria advindos da natureza e sociedade. Tendo tais procedimentos como norteadores de um planejamento ambiental, é possível se chegar a uma interpretação confiável do ambiente em questão.

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

2.1 Abordagem sistêmica

A abordagem conceitual e analítica dos sistemas originou-se na Biologia teorética. Todavia, várias outras disciplinas absorveram e adaptaram esta abordagem, dentre elas a Geografia.

A maior repercussão sobre o conceito de sistemas, surgiu a partir da publicação da obra "Teoria Geral dos Sistemas" de Ludwig Von Bertalanffy, editada em 1950. Embora suas reflexões sobre o conceito de sistemas adviessem de décadas anteriores, foi só a partir desta publicação que começaram a surgir discussões mais intensas sobre uma sistematização geral desta teoria. De um modo geral, a proposta de Bertalanffy faz referência a uma unificação dos campos do conhecimento através da integração de componentes e estruturas funcionais comuns a diferentes saberes, logo, algo que impõe uma grande complexidade. (Vicente & Perez Filho, 2003).

No campo da geografia, o conceito de sistemas iniciou-se na geomorfologia. Isso se justifica pelo fato desta disciplina ter sempre se preocupado com a busca da investigação conjunta dos elementos que formam o relevo, ou seja, aspectos da estrutura geológica, declividade, fatores do intemperismo e resistência dos materiais em superficie, hidrografia, entre outros. A análise integrada destes elementos foi sempre uma preocupação para os geomorfólogos, tornando-se uma tarefa comum a estes, aproximando-se assim da teoria dos sistemas.

A teoria dos sistemas influenciou principalmente pensadores da geografia física, resultando em uma nova concepção de organização dos sistemas ambientais físicos, que se convencionou denominar de *geossistemas*. O fato de o sistema ambiental ser resultado da interação dos componentes físicos da natureza (solo, clima, topografia, rochas, água, vegetação), reforça a idéia de que convém estudá-lo como um sistema que se organiza no espaço geográfico, mantendo fluxos de energia matéria que, ao criar combinações específicas entre seus elementos, redundam em um mosaico paisagístico. (Christofoletti, 1999; Monteiro, 2000).

BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP

Embora a teoria dos sistemas seja de ampla aplicação, estando presente em diversas ciências que compõem o universo do conhecimento - inclusive no leque de disciplinas que compõem a geografia -, aqui se pretende enfocar a concepção de sistemas no contexto da pesquisa ambiental, que é a dos geossistemas. Segundo Christofoletti (1999) esta abordagem enfoca a integração dos elementos físicos e biológicos da natureza analisados sob a perspectiva geográfica.

Sotchava (1963, *apud* Demek 1978) utilizou o termo geossistema para descrever a paisagem como uma unidade complexa, contendo todos seus componentes e subsistemas. Suas considerações constituíram as primeiras reflexões a respeito desta teoria, que no contexto da geografia física, passava a significar uma reformulação da concepção prática. De acordo com Monteiro (2000), no pensamento de Sotchava fica bastante claro o papel dos geossistemas na melhoria da investigação em geografia física e como conceito integrador da análise do sistema natural e antrópico.

Outro autor que também se destacou por suas pesquisas e considerações a respeito dos geossistemas, foi Bertrand (1968). A concepção geossistêmica apresentada por este autor deriva do conceito geográfico de paisagem, como observado no artigo "paisagem e geografia física global", onde as reflexões e considerações teórico-metodológicas aí presentes, lançam bases para a definição dos geossistemas de forma mais específica. Assim, o artigo de Bertrand (1968) representa um marco importante no desenvolvimento do estudo através do enfoque geossistêmico, propondo um novo paradigma para a abordagem teórica do estudo da paisagem.

Bertrand e Sotchava seriam percussores do pensamento da teoria dos sistemas na geografia. Ambos os autores fizeram considerações importantes em relação à aplicação desta teoria no contexto da Geografia Física, evidenciando bases teóricas e metodológicas que fazem dos geossistemas um conceito de caráter prático, podendo ser aplicado ao ordenamento territorial através da abordagem dos fenômenos naturais e humanos interferentes na paisagem geográfica. Como indicado por Monteiro (2000), esta abordagem implica em uma reflexão de conjunto sobre a inserção da natureza na análise social. O geossistema é um conceito simplificador e integrador da geografia física, e como tal, deve ser tratado por uma equipe ou várias equipes de especialistas das diferentes áreas do

conhecimento que compõe as pesquisas em meio ambiente. Até meados do século XX, as pesquisas sobre paisagem vinham sendo marcadas por uma visão estreita, baseada em estudos puramente descritivos. A análise mais aprofundada do estudo da paisagem a partir da teoria dos sistemas promoveu um avanço conceitual para a geografia.

Com os estudos sendo feitos a partir do enfoque das relações homem-natureza, surgem importantes pesquisas que contribuem para o estabelecimento das bases epistemológicas e metodológicas do estudo dos geossistemas. Tal fato colaborou para uma melhor compreensão do processo de integração dos elementos necessários para a análise da paisagem, tornando mais fácil a tarefa de delimitar e estruturar as unidades ambientais. A partir destas reflexões e pesquisas, passou-se então a enfatizar a importância de se estudar conexões entre os componentes da paisagem, com a finalidade de compreender melhor seu funcionamento.

É também nesta linha de pensamento que Tricart (1977) define o conceito de sistema ambiental, indicando um conjunto de fenômenos que se conectam mediante fluxos de matéria e energia. Estes fluxos teriam como propriedade a capacidade de originar relações de dependência mútua entre os fenômenos. De acordo com este autor, o conceito de sistema seria o melhor instrumento lógico que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente, pois se fixa no conceito da dinâmica da paisagem. Para Tricart, a grande vantagem conceitual desta teoria reside na própria contradição de seu postulado: se o objetivo principal é a compreensão do conjunto, o mesmo só pode ser alcançado, entretanto, pela decomposição das partes que integram sua totalidade.

Não se propondo a ser teoria pronta e acabada, a concepção de geossistemas parte da idéia da complexidade dos componentes da paisagem, onde elementos socioeconômicos não são vistos separadamente do sistema ambiental. Considerando que nas pesquisas ambientais, importa compreender tanto as variáveis sócio-econômicas - que imprimem determinadas marcas na paisagem natural -, como as características da dinâmica natural, o geossistema pode ser entendido como teoria da geografia ambiental, que em função dos problemas ambientais decorrentes da ocupação e uso desordenado dos espaços naturais, emerge como uma disciplina nova, sua originalidade baseia-se no conhecimento dos mecanismos que regem a natureza de forma integrada, não destituída da interferência

humana, e que se manifesta ativamente, de forma pragmática, em diretrizes de ordenamento territorial e pressupostos necessários ao planejamento ambiental.

2.1.1 Pressupostos metodológicos dos geossistemas

Ao trazer para a geografia a teoria dos sistemas, Sotchava (1977) preocupou-se com a definição do conceito de natureza no contexto desta disciplina, diferenciando-o daquele praticado pela ecologia. Assim, considerando que as conexões entre os diferentes elementos da natureza transcendem para a esfera socioeconômica, seria papel da geografia física fazer a integração dos elementos da natureza, compreender as relações mútuas de seus componentes, diagnosticar os eventos ocorrentes e apresentar uma prognose, tendo por base os aspectos humanos interferentes no meio. É por isso que, para este autor, o geossistema representa uma geografia aplicada, ou seja, uma geografia de planejamento, pois está também comprometida com questões relativas ao desenvolvimento socioeconômico.

O autor esclarece que os estudos em geografia física, baseados na teoria dos geossistemas englobam apenas alguns aspectos das disciplinas correlatas, principalmente aqueles que têm maior importância para realização de prognoses dos sistemas ambientais. Neste sentido, coloca que a geografia física atual deve trabalhar em conjunto com outras disciplinas, e não se isolar nos estudos das ciências naturais (geologia, hidrografia, etc.), mas cuidar para não se distanciar de sua vocação inicial, que é de realizar a conexão sociedade/natureza. Esta conexão, geossistêmica, se manifesta através de uma organização complexa, onde os componentes naturais de um geossistema são alterados pelo homem através das atividades econômicas, que estabelecem novas conexões entre os elementos da natureza, produzindo assim uma variação do estado inicial da estrutura ambiental. Desta forma, a paisagem é continuamente transformada apresentando sempre novos problemas em sua dinâmica. (Sotchava, 1977).

É no contexto desta concepção que Bertrand (1968) define o geossistema associando-o ao conceito de paisagem, apontando também para a dinâmica dos componentes que integram o sistema ambiental. Salienta inclusive que, a existência de diferentes definições para o termo *paisagem* acaba resultando em confusões de ordem epistemológica. Assim, de acordo com este autor, convém destacar que no contexto da geografia física global,

> "a paisagem não é uma simples adição de elementos geográficos disparatados. É uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução." (Bertrand, 1968).

Para Bertrand, estudar a paisagem implica em deparar-se com um problema de ordem metodológica, pelo fato de lidar com questões relativas à interdependência entre componentes do meio natural e suas relações mútuas, bem como destas relações e a ação antrópica. Ao propor um método, o autor se preocupa com questões relativas à taxonomia, dinâmica dos sistemas naturais, tipologia das paisagens e à representação cartográfica. Considera a escala têmporo-espacial inerente ao estudo das paisagens e trata do fator "tempo" como um elemento de grande complexidade, pois é abordado na escala geológica, implicando assim em estudos sobre a evolução dos sistemas geográficos, biogeográficos e geomorfológicos. Desta forma, fica evidente que todas estas necessidades recaem na dependência de um corpo interdisciplinar de pesquisa para se desenvolver, requerendo um volume significativo de investimentos, recursos e pessoas.

Na visão de Bertrand (1968), a delimitação geográfica de um conjunto de elementos que compõem a paisagem é algo arbitrário, depende praticamente dos fenômenos que são considerados, devendo corresponder a um conjunto de aspectos dominantes. A seleção dos parâmetros mais evidentes do ambiente físico limita a compartimentação da paisagem, nesta perspectiva, o autor põe em evidência três importantes questões:

(1) a delimitação da paisagem deve representar uma aproximação da realidade geográfica;

(2) é importante não se tomar o método da sobreposição cartográfica como algo estanque, que define manchas coincidentes ou tira "médias", é preciso se preocupar em encontrar a dinâmica e as relações entre os objetos de forma que estes apontem para a síntese geográfica;

(3) A paisagem irá então ser definida em função da escala, através de um sistema taxonômico que permite situá-la na perspectiva do tempo e do espaço.

Assim, como fora observado em Sotchava (1977), Bertrand (1968) considera de grande importância à fixação de uma escala de análise, procurando assim estabelecer diferentes grandezas espaciais (Christofoletti, 1999). Procedendo desta forma, os aspectos climáticos, estruturais, biogeográficos e antrópicos, devem compor um mesmo sistema taxonômico, o qual estabelece uma seqüência escalar desde o nível local até o globo terrestre, variando apenas o grau de generalização das informações que estão sendo discernidas nos sistemas ambientais. Bertrand propõe uma classificação hierarquizada da paisagem constituída por seis níveis têmporo-espaciais, divididos em unidades superiores e unidades inferiores (Tabela 2).

Nas unidades superiores, onde o domínio climático e estrutural (geologia) assumem um papel de destaque, a paisagem é abordada nas escalas de 1/1.000.000 ou menores. Nas unidades inferiores, abrangendo escalas de 1/100.000 ou maiores, o domínio biogeográfico e antrópico ficam mais evidentes.

Tabela 2 - *Sistema de classificação das paisagens em função da escala de abordagem.*

UNIDADES DE PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGENS	UNIDADES ELEMENTARES (Exemplo)			
			Relevo	clima	vegetação	uso da terra
ZONA	GRANDEZA - I	Tropical	--	Zonal	Florestas Tropicais	--
DOMÍNIO	GRANDEZA - II		Domínio Estrutural	Regional	Mata Atlântica	Rural / Urbano
REGIÃO NATURAL	GRANDEZA - III - IV	Depressão – Planalto Oc.	Cuestas	Regional	Ecossistema	Rural / Urbano
GEOSSISTEMA	GRANDEZA - IV - V	Cuestas	Reveso e /ou Front de Cuesta	Local	Mata; Cerradão; Campo	Campo Cultivado
GEOFÁCIES	GRANDEZA - VI	Front	Colinas Médias/Amplas; Vales Encaixados	Local	Brejo; Mata Galeria	Cana; Pasto;
GEÓTOPO	GRANDEZA - VII	Vales Encaixados	Vertente	Microclima	--	--

Fonte: Modificado de Bertrand, 1971

Neste contexto, o geossistema, definindo como "o complexo geográfico dinâmico do conjunto da paisagem", apareceria na unidade de paisagem de escala inferior. Nesta dimensão é dominante na unidade de paisagem a combinação do sistema de declive, clima, rocha, manto de decomposição (solo) e hidrologia das vertentes, tais componentes estão sujeitos a uma dinâmica comum de morfogênese, pedogênese e degradação antrópica da cobertura vegetal. Tal nível têmporo-espacial abrange a dimensão que vai de alguns

quilômetros a algumas centenas de quilômetros, escala esta onde os fenômenos que interferem na dinâmica da paisagem ocorrem com maior expressividade e também onde se dão as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo.

Para Bertrand, os elementos do ambiente físico são mais importantes que os de ordem biológica. Explica que os elementos climáticos, hidrográficos, geológicos e, em certa medida, os solos, passam por modificações mais lentas quando comparados com fatores de ordem biológica. Para ele, estes elementos definem o *potencial ecológico*, o qual segue as modificações de ordem biológica. Como exemplo, cita a questão do desmatamento e o desencadeamento dos processos erosivos, onde neste tipo de situação a vegetação original é totalmente removida resultando em uma dinâmica cuja correspondência está mais ligada às estruturas do potencial ecológico que com elementos de ordem biológica (Bertrand, 1968).

Para Bertrand, o geossistema ao representar a síntese da paisagem, indica um momento do estágio evolutivo do conjunto dos elementos que a compõe. As diferentes paisagens interligam-se umas as outras, através de uma dinâmica própria. Assim, a paisagem é tomada como uma entidade global, com cada elemento constituinte participando de uma forma diferente no conjunto.

Outro importante autor que contribuiu com o avanço do pensamento teórico e metodológico dos geossistemas na geografia é Jean Tricart, que em suas colocações retoma a preocupação anteriormente vista em Sotchava e Bertrand, ao considerar a abordagem sistêmica como método de pesquisa que pode tornar a geografia física mais atuante e menos isolada em seus estudos. Neste contexto, visita ainda uma outra questão, também presente em Bertrand, quanto ao papel da geografia física como cooperadora da ecologia e do estudo do meio ambiente. Estes três autores compartilham da idéia de que, nas pesquisas sobre meio ambiente, de um modo geral, há uma valorização maior à ecologia em prejuízo da geografia física. Nas recentes pesquisas ambientais é notória a maior importância dada aos aspectos da biocenose ou conjunto de seres vivos dos sistemas naturais, do que ao meio ambiente físico.

Em seu trabalho intitulado *Ecodinâmica* (1977), Tricart expõe como a geografia pode contribuir para a análise integrada, sobretudo dos elementos que compõem o meio físico.

Em sua concepção, o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico disponível para estudar os problemas do meio ambiente, pois é um conceito de caráter dinâmico.

Tricart assume o componente morfodinâmico como o fator mais importante na dinâmica dos sistemas ambientais pelo fato das instabilidades que eventualmente ocorrem na superfície terrestre, a ele estarem associadas, sobretudo, no que diz respeito ao desenvolvimento dos seres vivos. Todavia, convém salientar que, embora este autor tenha se destacado pelos seus estudos sobre geomorfologia, nesta obra a ênfase na importância dos geossistemas, destitui de valor os estudos geomorfológicos isolados que não valorizam a integração da pedologia e hidrologia, ciências estas que lidam com objetos bastante comuns.

Servindo às necessidades exigidas à compreensão do ambiente para conservação e restauração, Tricart propõe uma taxonomia dos tipos de ambientes, classificando-os segundo o grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica manifesto a partir do balanço pedogênese/morfogênese. Tal classificação será resumidamente apresentada nos próximos parágrafos.

Gerir recursos ecológicos significa avaliar a intensidade da interferência humana no ecossistema e determinar qual limiar não leva a degradação. Para se chegar a esse conhecimento é necessário um amplo estudo do funcionamento do sistema.

A **estabilidade** associada ao relevo e a interface atmosfera – litosfera indica os meios equilibrados, aqueles que apresentam uma evolução lenta do modelado. Dentre as condições que favorecem esta classificação estão: a vegetação densa, que ameniza os processos mecânicos da morfogênese; a dissecação moderada da drenagem, apresentando estabilidade das vertentes; ausência de fenômenos catastróficos, como tectonismo e vulcanismos ativos.

Para a maioria dos meios estáveis, o princípio da conservação deve ser o de manter uma cobertura vegetal densa, de modo a se aproximar o máximo possível da condição vegetal natural. A polêmica a esse respeito se faz quanto à exploração econômica destes ambientes, já que a sugestão é preservação total.

Em regiões estáveis a pedogênese se destaca sobre a morfogênese, revelando aí a importância da pedologia no estudo da paisagem. Todavia, o solo deve ser analisado no

contexto da paisagem e não somente a partir das classificações determinadas pelos levantamentos cartográficos.

Nos meios **Intergrades**[2], a pedogênese e morfogênese concorrem igualmente sobre um mesmo espaço. Do ponto de vista quantitativo, o balanço pedogênese/morfogênese é de difícil mensuração, mas se a instabilidade for fraca, a pedogênese tende a superar a morfogênese, indicando uma transição para a estabilidade. Estes meios são sensíveis às interferências externas, pois como o sistema é complexo, a cobertura vegetal assume papel importante no balanço pedogênese/morfogênese. Como estes meios estão sujeitos a fenômenos de amplificação, a exploração econômica pode ser desfavorável ou até limitada.

Nos meios **instáveis**, a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural, sendo que os outros elementos estão subordinados a este fator. Segundo Tricart (1977), a degradação dos ambientes pela erosão intensa advém de causas humanas que destroem os solos e colocam em movimento diferentes materiais ao longo das vertentes. É também resultado negativo o fato de na base das vertentes, no fundo de vales e nas planícies aluviais, ocorrerem a acumulação de grande quantidade de material, não permitindo o desenvolvimento dos horizontes do solo e conseqüentemente, a estabilização da unidade de paisagem.

A contribuição de Tricart é, sem dúvida, de grande importância para o desenvolvimento do método de pesquisa em meio ambiente com enfoque na análise da paisagem. Seu pensamento influenciou de forma abrangente a pesquisa em geografia, tanto no âmbito teórico quanto no metodológico. Atualmente, muitos trabalhos e projetos desenvolvidos no Brasil tomam por base os pressupostos teórico-metodológicos estabelecidos por este autor, onde inclusive, é possível encontrar diretrizes voltadas especificamente à sistematização de seu método, neste contexto, pode-se citar Ross (1994) e Crepani *et al.* (1996).

A proposta de uma análise empírica da fragilidade e da potencialidade dos recursos naturais elaborada por Ross (1994) tem por objetivo, orientar as intervenções humanas no meio ambiente, fornecendo para isto, subsídios ao planejamento econômico e ambiental do território nas mais diferentes escalas. Neste sentido, os estudos analíticos feitos a partir

[2] Termo tomado do vocabulário dos geólogos para designar transição (Tricart, 1977).

desta proposta buscam fornecer material cartográfico e textual de utilidade prática para tal fim.

A concepção teórico-metodológica da proposta de Ross (1990; 1994) se sustenta na teoria dos Geossistemas, sobretudo na vertente de Tricart, o qual propõe o estudo do meio ambiente do ponto de vista ecodinâmico, ou seja, onde "a ótica da dinâmica deve ser o ponto de partida da avaliação", e em função da qual se distinguem os tipos morfodinâmicos, classificando-os em função dos processos a que são submetidos no tempo presente.

A partir dessa idéia, novos critérios foram revistos por Ross (1994) no intuito de se chegar à organização de procedimentos operacionais para a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais, permitindo a classificação da estabilidade dos ambientes.

Para se chegar a resultados satisfatórios dentro desta proposta metodológica, fazem-se necessários estudos básicos de geomorfologia, geologia, solo, clima e de uso da terra, os quais devem ser acompanhados por análises de campo e de gabinete. Estes dados, tidos como primários, também podem ser obtidos em materiais cartográficos já existentes que, contendo dados detalhados sobre o terreno, permitem elaborar uma avaliação qualitativa do meio através de sua integração. O material resultante a partir da correlação dos temas pode ser organizado no formato cartográfico multi-temático e corresponder a uma avaliação qualitativa do potencial à fragilidade do ambiente natural.

A metodologia de Crepani *et* al. (1996) é de cunho geossistêmico, pois aborda os princípios da ecodinâmica propostos por Tricart (1977), assim como o fez Ross (1994). Mais objetivamente, a proposta visa o estabelecimento de um método para o zoneamento ecológico-econômico utilizando dados obtidos por meio do sensoriamento remoto - no caso imagens de satélite - em integração com informações adquiridas em outras diferentes fontes.

Como indicado por estes autores, a integração e a interpretação de informações disponíveis em imagens de satélite, possibilitam melhor e mais completos resultados no sentido de entender o meio ambiente em sua totalidade. Tal argumento pode ser confirmado em Tricart (1981, *apud* Crepani *et al.,* 1996), quando se refere ao sensoriamento remoto

como um instrumento importante na obtenção de conhecimento sobre o meio ambiente e descrição das paisagens.

Crepani *et* al. (*op. cit.*), ao sistematizar um método, propõe a identificação de unidades territoriais básicas através da integração de informações sobre clima, geologia, geomorfologia e pedologia de uma dada porção do território. Neste conjunto de informações, ter-se-ia ainda o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, gerado a partir da interpretação de imagens de satélite. Assim, as unidades territoriais sintetizariam um conjunto de características do ambiente, servindo assim como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico.

Esta metodologia atribui uma grande importância à utilização do sensoriamento remoto como recurso técnico. Reporta-se ao uso desta tecnologia e dos recursos computacionais como colaboradores da pesquisa em geografia e, consequentemente, no conhecimento sobre geossistemas, principalmente no que diz respeito a novas formas de integração e manipulação de dados.

De um modo geral, diferentes pensadores da área de Geografia contribuíram para a construção do conhecimento em geossistemas. O que se demonstrou aqui constitui apenas parte deste saber, apresentando autores que se destacaram na abordagem de conceitos teóricos e metodológicos que balizaram o desenvolvimento de estudos posteriores (Figura 4).

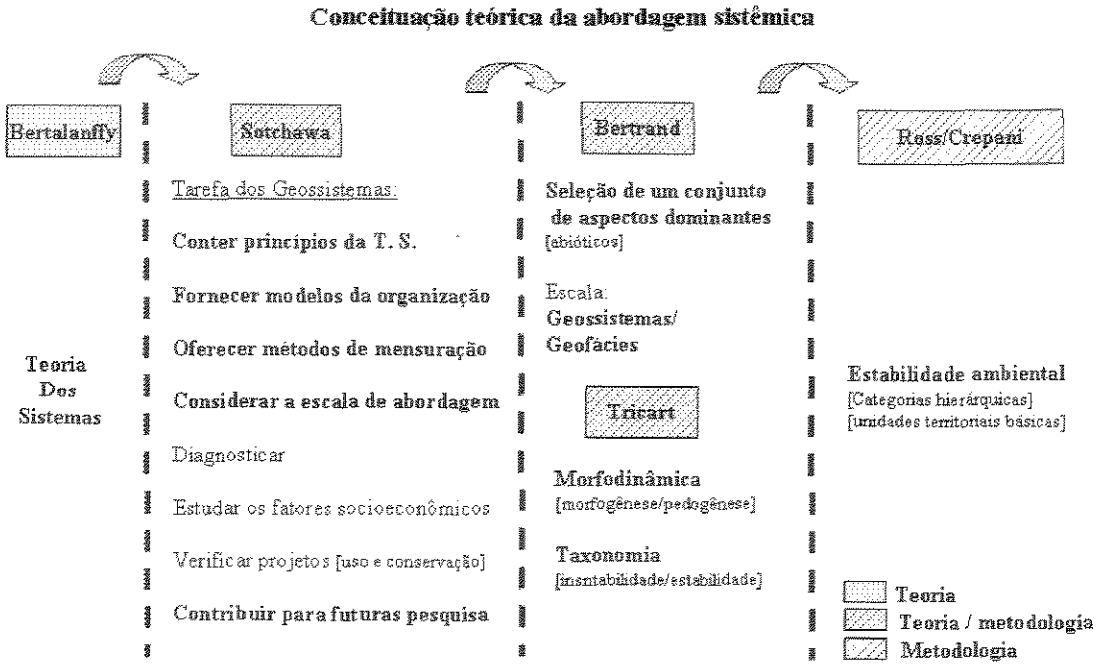


Figura 4 – *Conceituação teórica e abordagem metodológica dos geossistemas presente em alguns autores.*

2.2 Sistemas de informações geográficas

2.2.1 Conceito

Segundo Câmara e Davis (2001) o termo *Geoprocessamento* denota a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Pode ser entendido também como um saber técnico que se aplica às diferentes áreas que lidam com o processamento de dados com características espaciais.

Os recursos computacionais que permitem a realização dos mais sofisticados processamentos de dados espaciais são chamados de *Sistemas de informações geográficas (SIG)*, tais instrumentos possibilitam a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, criar bancos de dados georreferenciados e relacionais para a automação no processo de produção de documentos cartográficos. O conceito de sistemas de informações geográficas pode ser melhor definido a partir de autores que se destacam por suas pesquisas na área, dentre eles:

> *'Doe (1987): "Um sistema de captura, armazenamento, checagem, manipulação, análise e apresentação de dados que são espacialmente referenciados na Terra".*
>
> *Burrough (1986): "um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar e recuperar a qualquer momento, transformando e apresentando dados espaciais do mundo real"*
>
> *Cowen (1988): "Um sistema de suporte a decisão envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados num ambiente de solução de problemas"*
>
> *Koshkariov, Tikunov e Trofimov (1989): "Um sistema com habilidades avançadas de modelagem geográfica"*
>
> (Maguire *et al.*, 1991: 10-11)
>
> *Aronoff (1991): "Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados"*

De um modo geral, o geoprocessamento, conduzido através dos sistemas de informações geográficas, diz respeito às tecnologias de tratamento de dados espaciais para gerar geoinformação. Pela generalidade de aplicações possíveis, pode atender a diferentes objetivos, todavia, é comumente aplicado ao sensoriamento remoto, a cartografia digital, a conversão e modelagem de dados, a aerofotogrametria, a geocodificação e demais disciplinas e procedimentos correlatos.

Maguire (1991) delineou três considerações que se tornaram de grande importância conceitual no que se refere à funcionalidade dos sistemas de informações geográficas, a saber: são sistemas eficazes para o processamento e desenho de mapas; são poderosos recursos para a implementação de banco de dados; são de grande utilidade para a análise espacial. A funcionalidade destes sistemas para se fazer análise espacial é um ponto máximo no que diz respeito à sua aplicabilidade, envolve inclusive um leque muito maior de parâmetros conceituais que não se restringem a tecnologia da informação geográfica, mas que compõe um conjunto de conhecimentos dotados de universalidade e objetividade que são estruturados com métodos, teorias e linguagens próprias, que visam compreender e orientar a natureza das atividades referentes à informação geográfica, manifestando-se principalmente através da modelagem e análise de dados espaciais.

O estudo da informação espacial por diferentes ramos do saber tem colaborado para redirecionar as pesquisas e aplicações no âmbito dos sistemas de informações geográficas.

Diversas disciplinas que se utilizam da informação espacial têm se beneficiado dos recursos providos pelos *softwares* dos sistemas de informações geográficas, não apenas usufruindo da praticidade com que a manipulação de dados é possível, mas com a ampliação do conhecimento adquirido através destes, expressas nas novas possibilidades que os sistemas oferecem para a análise dos fenômenos estudados. Os avanços feitos neste sentido têm contribuído, não apenas para o conhecimento particular de cada uma das disciplinas que lidam com a geoinformação, mas para a definição dos sistemas de informações geográficas como ciência.

O termo "Ciência da Informação Geográfica" foi proposto primeiramente por Goodchild, alertando para a importância do estudo das informações espaciais como um caminho para a definição de uma ciência. Em um artigo escrito em 1992 este autor propõe que, problemas fundamentais advindos das informações de caráter geográfico poderiam ser melhor resolvidos ser passassem ser tratados como objeto de uma ciência e sendo assim estudados com maior profundidade (Longley *et al.*, 2001).

É fato que, os sistemas de informações geográficas como ferramentas úteis que auxiliam cientistas, especialistas, técnicos e leigos podem também ajudar na resolução de problemas de ordem geográfica. Todavia, é importante salientar que, tecnicamente, estão sujeitos a limitações e assim, podem suscitar questões sem respostas. Neste sentido, Longley *et al.* (2001) nos alerta para algumas questões ainda indefinidas como, por exemplo, sobre a confiabilidade da acurácia de alguns resultados; a falta de definição de alguns princípios no processo de geração de mapas; e como obter uma interface de fácil compreensão para usuários iniciantes ou leigos.

2.2.2 A abordagem sistêmica nos Sistemas de informações geográficas

A compreensão do meio ambiente como um todo complexo, levou a Geografia a considerar a abordagem sistêmica como conceito teórico importante a ser discutido. O entendimento das interações entre os diferentes componentes da superfície terrestre tem sido feito a partir da construção de modelos construídos em torno da seleção de algumas variáveis que compõem a paisagem geográfica. Neste processo, obtêm-se sempre resultados simplificadores da realidade, dada a complexidade da relação estabelecida entre os elementos naturais que compõem a superfície terrestre e a sociedade humana. Assim, a

tarefa de elaborar modelos quantitativos e qualitativos, a fixação de uma escala de abordagem, a hierarquização dos diferentes elementos e o mapeamento das componentes ambientais, serve apenas como recursos para se chegar a uma melhor compreensão da realidade geográfica, ou seja, aproximar-se do objeto de estudo. Monteiro (2000) coloca que o embasamento teórico em geossistema juntamente com o uso das técnicas de avaliação (quantitativas), colaboram mutuamente para a percepção geográfica (unidades espaciais, qualidade ambiental, etc.), ao permitirem identificar propriedades e causalidades.

Um dos principais instrumentos em possibilitar a transferência de conceitos teóricos para o plano prático é a modelização cartográfica. Para Tricart (1977), a cartografia permite a simplificação ou a esquematização do modelo analítico proposto numa dada teoria, manifestando-se de forma prática através da representação gráfica, portanto visual e concreta, correspondendo sempre à determinada porção da superfície terrestre.

De um modo geral, no atual momento histórico a pesquisa científica tem sido favorecida por equipamentos tecnológicos. Ferramentas e aportes técnicos sempre foram muito importantes para a geografia, a qual se utilizando de imagens de satélites, fotografias aéreas, mapas e programas de computador, já se fazia valer de uma compreensão mais precisa da organização espacial. Pode-se dizer que, através dos recursos tecnológicos, o conceito de sistemas em geografia tem se redimensionado (Vicente e Perez Filho, 2003), favorecendo-se de meios que permitem transformar dados em informações mais sofisticadas. Como exemplo, pode-se citar a capacidade que estes sistemas têm de: realizar processamento digital de imagens de satélite; realizar operações com maior precisão e, conseqüentemente, fornecer das informações maior detalhamento; e por fim, possibilitar a manipulação, resgate e atualização de dados e informações com economia de tempo.

De acordo com Monteiro *(op.cit.),* as técnicas de fácil acesso existentes atualmente são ferramentas indispensáveis ao avanço das concepções relativas às novas geografias, pois são recursos para o aprimoramento da formulação teórica dos geossistemas.

Assim, pode-se mencionar os sistemas de informações geográficas como parte deste processo, uma vez que estes permitem a integração de dados multitemáticos num mesmo ambiente digital. Um SIG é resultado de uma série de conceitos e técnicas geográficas, matemáticas, geodésicas, estatísticas, cartográficas e de informática, podendo ser entendido

como a mais completa ferramenta multidisciplinar de análise espacial existente hoje (Vicente & Perez Filho, *op. cit.*).

A geografia, ao definir modelos metodológicos e de representação, tende a incluir cada vez mais os recursos tecnológicos, já que os conceitos trabalhados por esta disciplina, no que tange a modelagem de dados e a geração de informações, podem ser viabilizados na estrutura de um SIG. Neste sentido, delineia-se um novo olhar sobre a abordagem sistêmica ao entrecruzar dois campos que abrangem conjuntos de conhecimentos: epistemologia e tecnologia.

Para Câmara (1996a), o processo de modelagem de dados em SIG implica em fazer uso de um conjunto de ferramentas conceituais que tem a propriedade de descrever a realidade geográfica. A modelagem de dados pode limitar o desenvolvimento futuro de um projeto realizado em sistemas de informações geográficas, caso esta não esteja sendo apropriadamente manipulada. O autor ainda enfatiza que é através da modelagem de dados que os *softwares* de geoprocessamento avançam, pois por meio desta que se avalia a abrangência e funcionalidade de um sistema.

Enfim, os sistemas de informações geográficas permitem a criação de modelos representativos do mundo real que podem, através da manipulação de determinados comandos no sistema computacional, ser remodelados ou integrados, fornecendo novas informações que apontam para a análise espacial. É no contexto destas análises que, estudos sobre a epistemologia da geografia, podem cada vez mais interferir no desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas. A aplicação de conceitos e métodos que tem como apoio as tecnologias de geoprocessamento, podem a favorecer a geração novos modelos de dados e algoritmos úteis ao desenvolvimento de futuras pesquisas.

2.2.3 Modelos de dados espaciais

De acordo com Bonham-Carter (1994), tanto a computação de dados, quanto os sistemas de informações geográficas não podem ser diretamente aplicados ao mundo real. Os fenômenos de interesse do mundo real devem ser representados de forma simbólica e isso envolve o uso de modelos. Segundo Câmara e Medeiros (1996a), um modelo de dados

é um conjunto de ferramentas conceituais utilizado para descrever como a realidade geográfica será representada no sistema computacional.

Os modelos são simplificações da realidade e os componentes a serem modelados são objetos espaciais. As aproximações das entidades espaciais ao mundo real são representadas no mapa por símbolos gráficos. A chave para a compreensão destes símbolos se encontra, em parte, na legenda, pois o arquivo computacional que contém a representação digital é também um modelo simbólico de representação do fenômeno real.

Dá-se o nome de modelagem de dados ao processo de definição e organização dos dados sobre o mundo real, em um banco de dados digital capaz de gerar informações (Bonham-Carter, 1994). Assim, os dados podem ser definidos como fatos verificáveis sobre o mundo real e a informação produzida, como correspondendo aos dados organizados de forma a revelar padrões, produzir modelos que facilitam a pesquisa.

No contexto da computação gráfica e do processamento de imagens, a modelagem de dados abarca uma perspectiva ampla, não restrita a uma aplicação particular do geoprocessamento. Todavia, os elementos geográficos podem ser transportados para o universo conceitual da computação através de definições matemáticas e de estruturas que distinguem as grandes classes de dados geográficos contínuos e discretos, possibilitando inclusive a especialização destes e sua representação em diferentes formas de visualização: modelos digitais do terreno, dados de sensoriamento remoto, mapas temáticos, entre outros.

Sendo os Sistemas de informações geográficas ferramentas computacionais, os mesmos operam sobre números e caracteres. Desta forma, os modelos por ele gerados são representações simplificadas da realidade (Barbosa, 1997). Assim, a modelagem consiste em descrever os dados que estão sendo utilizados de forma matemática, simbólica ou funcional, obtendo-se como resultado uma representação modelada a partir das informações que se tem do objeto estudado.

2.2.4 Análise Espacial

O objetivo da análise espacial é obter respostas a problemas que tenham expressão espacial, seja de ordem ambiental ou socioeconômica.

Segundo Openshaw (1991), a origem da análise espacial remonta a década de 1950, quando começa o desenvolvimento da geografia quantitativa, a qual passou a utilizar métodos provenientes da estatística aplicada a dados espaciais. As técnicas abordadas pela estatística espacial foram gradativamente sendo incorporadas pela geografia e, recentemente, com o advento dos sistemas de informações geográficas, as ferramentas de análise espacial implementadas nos softwares tem sido de extrema relevância na difusão de tais técnicas na pesquisa em geografia.

Embora alguns autores concebam a análise espacial como sendo o conjunto de procedimentos estatísticos e de técnicas aplicadas à investigação da localização de fenômenos, a mesma também se apresenta como um conjunto de técnicas que permite a descrição das conexões entre fenômenos representados em um ou mais mapas.

No contexto dos sistemas de informações geográficas, a análise espacial está comprometida com a capacidade de transformar dados espaciais originais, ou brutos, em um produto que possa fornecer respostas a determinadas questões (Burrough, 1986). Sendo assim, na pesquisa em geoprocessamento, a análise espacial está no centro das atenções.

De acordo com Bonham-Carter (1994), a análise espacial de modelos de mapas é o objetivo último de muitas das aplicações em sistemas de informações geográficas, pois é o esforço na busca por modelos e associações feitas por meio dos mapas, e através dos quais é possível caracterizar, entender e predizer determinado fenômeno espacial. No contexto da análise espacial, um dos mais significantes aspectos dos sistemas de informações geográficas é a habilidade de combinar dados de diferentes fontes, com o propósito de identificar e descrever associações espaciais presentes nos mesmos.

2.2.4.1 Inferência geográfica: operações sobre múltiplos mapas

A definição de um projeto que abarca diferentes instâncias espaciais e que tem por objetivo o estudo ambiental com enfoque na paisagem geográfica, deve ocorrer em um ambiente que favoreça a integração das variáveis utilizadas e que providencie mecanismos de análise. Os sistemas de informações geográficas são apropriados a essa realização, pois a manipulação das diferentes variáveis e atributos, sejam eles espaciais ou não, podem acontecer em um banco de dados único, por intermédio do qual também é possível se estabelecer operações analíticas variadas.

Em linhas gerais, as inferências geográficas ou inferência espacial dizem respeito a diversos métodos utilizados para a integração de dados no ambiente dos sistemas de informações geográficas. De acordo com Câmara *et al.* (1996b), tais métodos possibilitam a transformação destes dados e sua apresentação na forma de mapas ou planos de informação em diferentes formatos.

Na maioria dos projetos desenvolvidos com auxílio dos sistemas de informações geográficas, um procedimento usual é a combinação de dados espaciais obtidos a partir de diferentes fontes, que serve como meio de descrever e analisar as interações que se processam entre as variáveis que integram um determinado fenômeno. Quando o objetivo é fazer previsões ou fornecer apoio à tomada de decisão, o cruzamento de dados multi-temáticos pode oferecer melhores possibilidades de ação. De acordo com Pendock; Nedeljkovic (1996, *apud* Câmara; Davis; Monteiro, 2001), as interações feitas utilizando dados de múltiplas fontes permitem a redução da ambigüidade das interpretações que normalmente são obtidas através da análise individual dos dados.

Segundo Malczewski (1999), existe uma variedade de operações analíticas possíveis de serem feitas pelos usuários dos sistemas de informações geográficas no que diz respeito a integração de dados obtidos em fontes diversas. Todavia, diante do leque de possibilidades existentes, há que se fazer distinção entre dois grupos operacionais de análise geográfica, distinguindo-se daí as operações de analise básicas e avançadas, que se diferenciam de acordo com o grau de sofisticação da função utilizada. As funções básicas ou de análise primária, dizem respeito àquelas úteis para uma variedade de aplicações genéricas, dentre elas destacam-se: operações de medidas, reclassificação, *overlay*, de vizinhança e conectividade.

No contexto da presente pesquisa, será importante destacar duas técnicas de inferência geográfica, as quais se enquadram, respectivamente, no contexto das funções básicas e avançadas de análise, a saber: do método *Booleano* ponderativo *(index overlay)*; e a técnica do Processo Analítico Hierárquico (AHP). Ambas as técnicas trabalham com o conceito da importância relativa dos dados no conjunto de temas abordados, todavia reservando características particulares.

A *Lógica Booleana* tem sido uma das técnicas mais utilizadas para se fazer combinação de planos de informação nos sistemas de informações geográficas. Os operadores *booleanos* são regras algébricas baseadas em atributos de pertinência espacial das entidades representadas em uma base de dados. Tal modelo envolve a combinação lógica binária através de condicionantes, onde as operações lógicas são efetuadas sobre variáveis e podem admitir dois estados: presença e ausência. De acordo com Bonham-Carter (1994), o modelo Booleano é baseado no conhecimento, do conjunto de informações de entrada, que acompanhado de uma metodologia, permite descobrir a localização de zonas que satisfaçam um conjunto de critérios. Quando o critério é definido segundo regras determinísticas, o modelo consiste em aplicar operadores de lógica booleana em um conjunto de mapas de entrada. O dado de saída é um mapa binário onde cada ponto no mapa, satisfaz ou não as condições do modelo. Harris (1989 *apud* Câmara; Davis; Monteiro, 2001) descreve esse modelo como técnica de *co-ocorrência aditiva,* onde os mapas binários são simplesmente sobrepostos, e as áreas de maior potencialidade à ocorrência do fenômeno estudado são aquelas que apresentam o maior número de interseção de evidências favoráveis definidas pelo modelo.

Um modo alternativo ao método booleano simples é indicado por Bonham-Carter (*op cit*) onde cada localização pode ser avaliada de acordo com critérios ponderados, que resultam em um grau em uma escala de potencialidade. Essa técnica é também definida por Harris (*op. cit.)* como *co-ocorrência ponderada*. Este método tem como vantagem a habilidade de avaliar graus de potencialidade em vez de apenas avaliar presença ou ausência da mesma.

O modelo *Booleano* é muito utilizado devido à sua facilidade e simplicidade, devendo ser entendido como uma função básica dos sistemas de informações geográficas, análoga à sobreposição de *overlays* de mapas feitos em uma mesa de luz.

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) se diferencia do método booleano no que diz respeito ao conceito da hierarquização do conjunto de dados. De acordo com Malczewski (1999) a técnica do AHP tem por parâmetro regras de suporte à decisão.

Esse método, proposto por Thomas Saaty em 1978, é uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, diferentes fatores que influenciam a

tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida, ou seja, os objetos são comparados em pares, levando um, depois o outro e, então, levando de novo o primeiro e segundo, e assim por diante, até que se forme um julgamento quanto ao peso relativo de cada par de objetos.

O AHP é um procedimento com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por meta, critérios, sub-critérios e alternativas. Com base na comparação entre pares, o processo analítico hierárquico pondera todos os sub-critérios e critérios e calcula um valor de razão de consistência entre [0, 1], com "0" indicando a completa consistência do processo de julgamento (Câmara; Davis; Monteiro, 2001).

Em relação ao processo de consistência entre o julgamento dos pares Saaty (1991) coloca que, quanto mais o analista conhecer a situação dos componentes considerados, mais consistente será a representação. Comparações paritárias permitem melhorar a consistência dos julgamentos no sentido de aumentar o número de informações disponíveis. (Tabela 3)

Tabela 3 - *Escala de valores da comparação pareada do AHP*

Peso	Intensidade de importância	Definição
1	*Igual*	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
2	*Um pouco melhor*	*Nível intermediários entre os julgamentos 1 e 3*
3	*Algo melhor*	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
4	*Moderadamente melhor*	*Nível intermediários entre os julgamentos 3 e 5*
5	*Melhor*	Um fator é claramente mais importante que o outro
6	*Bem melhor*	*Nível intermediários entre os julgamentos 5 e 7*
7	*Muito melhor*	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
8	*Criticamente melhor*	*Nível intermediários entre os julgamentos 7 e 8*
9	*Absolutamente melhor*	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível

O grande potencial das duas inferências analíticas apresentadas está na integração de múltiplos mapas em torno de objetivo único. Tecnicamente, a integração dos dados é estabelecida por meio do escalonamento e normalização em um intervalo numérico (ou hierárquico) comum. Assim, a definição dos diferentes níveis de importância é operacionalizado aplicando-se pesos, os quais são assinalados a partir de critérios de avaliação[3].

Segundo Malczewski (1999), a análise de múltiplos mapas é uma das mais importantes funcionalidades dos sistemas de informações geográficas e pode ser entendida como resultado do processamento e da análise de uma base de dados. Dependendo dos mapas que compõem a base de dados, a classificação e a mensuração dos componentes da legenda podem ser feitas utilizando critério quantitativo ou qualitativo, sendo a normalização destes dados, imprescindível para que possa ocorrer a integração dos mesmos. Desta forma, no contexto da análise multicriterial, distinguem-se duas maneiras de se ordenar os atributos das classes:

a) Nos mapas de escala de valores naturais, o fator de julgamento é um critério objetivo, pois não depende de nenhum tipo de julgamento para a construção da escala. Como exemplo pode citar um mapa de declividade cuja classe "0 a 6%" representa um critério que maximiza a estabilidade de uma vertente;

b) Outro tipo de critério é aquele construído por especialistas, o qual demanda um julgamento prévio para a construção de uma escala de valores, neste caso, podendo ser chamada de escalas subjetivas ou índices subjetivos. Como exemplo pode-se citar a avaliação de um ambiente em estável, instável ou *intergrades* segundo as premissas propostas por Tricart para a avaliação ecodinâmica da paisagem.

Como exemplo de uma análise multicriterial aplicada ao estudo da paisagem, pode-se citar a proposta metodológica para o zoneamento ecológico-econômico de Crepani *et* al. (1996). O método de análise integrada indicada por estes autores é operacionalizado a partir da extração da média aritmética dos valores das classes temáticas (solo, geologia, relevo,

[3] Um critério se baseia em normas de julgamento que testa a pertinência das decisões tomadas; é um termo genérico que inclui tanto os atributos trabalhados quanto o objetivo almejado.

uso da terra e cobertura vegetal). O resultado desta análise manifesta-se na delimitação de unidades de paisagem que podem ser dispostas em uma escala de gradação que indica a estabilidade/vulnerabilidade ambiental. Em linhas gerais, é um método que se serve de múltiplos critérios para serem aplicados em projetos que envolvam análise ambiental.

2.3 Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais

O sensoriamento remoto como um sistema de aquisição de dados é um importante facilitador no estudo do meio ambiente, pois fornece dados sobre a superfície da Terra e meios que possibilitam a transformação destes em informações úteis à investigação.

A definição de sensoriamento remoto é ampla e pode ser vista em diversos autores, dentre eles:

(Jensen, 1996): *"é uma tecnologia que possibilita a aquisição de informações sobre a superfície da Terra à distância".*

(Novo, 1989): *"utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para o processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc. com o objetivo de estudar o meio ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações".*

Segundo Jensen (1996), para se estabelecer corretamente os procedimentos de uma pesquisa que tem o sensoriamento remoto como recurso à obtenção de dados e informações sobre a superfície terrestre, faz-se necessário contextualizar um problema para que se possa (1) *coletar adequadamente os dados necessários* (2), *estabelecer procedimentos analíticos apropriados e* (3) *prover resultados que possam auxiliar na tomada de decisão.*

Como exemplo de um problema que pode ser resolvido pelo sensoriamento remoto, podemos citar a produção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal. No estudo da dinâmica da paisagem, o mapa de uso é um elemento essencial, pois representa um momento histórico único do processo de ocupação e utilização da terra pelo homem. Neste contexto, o uso do sensoriamento remoto promove duas condições de grande importância para as atividades de elaboração e utilização deste material: uma é a possibilidade de atualização contínua dos mapas feitos no passado e a outra diz respeito à sua utilidade no

mapeamento a diferentes escalas. Em escalas médias e de detalhe, a percepção das mudanças resultantes do uso e ocupação ao longo do tempo tende a ser notada de forma bastante expressiva, obrigando a atualização contínua das informações presentes no mapa. Assim, a percepção das mudanças decorrentes do uso e ocupação pelo homem ao longo do tempo pode ser tanto mais notada quanto maior for a escala de abordagem.

Na *coleta de dados para uma pesquisa* em sensoriamento remoto é importante, inicialmente, se avaliar qual material é o mais adequado à extração das informações para o mapeamento dos elementos que compõem a superfície terrestre.

Dentre os produtos que compõem o sensoriamento remoto estão as imagens produzidas por meio de equipamentos sensores alocados a bordo de satélites artificiais. Atualmente, existem diversos sistemas orbitais trabalhando na coleta de dados da superfície terrestre, todavia, no atual estado da arte, é importante considerar aqueles que apresentam maior fonte de dados de sensoriamento remoto e maiores possibilidades de continuar operando no futuro.

Embora existam diferentes tipos de sistemas operando em nível orbital com a finalidade de registrar dados relativos à superfície terrestre, os sistemas com sensores voltados a aplicações em recursos terrestres são os que melhor servem aos estudos ambientais. O sistema Landsat tem servido a este fim, desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), é um exemplo de satélite que utiliza este tipo de sensor. Sua tecnologia está voltada principalmente ao sensoriamento remoto continental, mas é também, eficaz na coleta dados sobre os oceanos e águas continentais. O programa Landsat vem se modificando desde a década de 1970, acompanhando avanços tecnológicos e servindo como importante recurso no provimento de materiais de sensoriamento remoto orbital. (Tabela 4)

Tabela 4 – *Principais Características do Sistema Landsat*

Sumário do Programa Landsat						
				Resolução		
Sistema	**Duração** *(início/fim)*	**Sensor**	**Altitude** *(Km)*	Espacial *(metros)*	Temporal *(dias)*	Radiométrica *(Mbps)*
Landsat 1	07/23/1972 01/06/1978	RBV MSS	917	80 80	18	15
Landsat 2	01/22/1975 02/25/1982	RBV MSS	917	80 80	18	15
Landsat 3	03/05/1978 03/31/1983	RBV MSS	917	30 80	18	15
Landsat 4*	07/16/1982	MSS TM	705	80 30	16	85
Landsat 5	03/01/1984	MSS TM	705	80 30	16	85
Landsat 6**	10/05/1993 10/05/1993	ETM	705	15 (pan) 30 (ms)	16	85
Landsat 7	12/1998	ETM+	705	15 (pan) 30 (ms)	16	150

* Falha na transmissão de dados do TM em Agosto de 1993
** Falha em atingir a órbita
MSS = Multispectral Scanner System
RBV = Return Beam Vidicon Camera
TM = Thematic Mapper
ETM (+) = Enhanced Thematic Mapper (Plus)
ms = multiespectral
pan = pancromática
Mbps = megabits

Fonte: NASA (disponível em: <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lpsum.html>. Acesso em: 18 ago. 2005).

As imagens de satélite, por serem processadas digitalmente a partir de sinais elétricos, adquirem propriedades técnicas específicas, ou seja, possuem características que são próprias da tecnologia de imagens digitais. Algumas destas características dizem respeito a parâmetros relativos à resolução espectral e espacial imagem e também, aspectos técnicos que interferem diretamente na interpretação das imagens e automaticamente no processo de mapeamento. Por este motivo, é importante o conhecimento sobre conceitos técnicos para não fazer mau uso das aplicações metodológicas.

Através de um sistema de imageamento eletro-óptico, sensores como o *Thematic Mapper* do sistema Landsat, transformam a radiação proveniente dos diferentes alvos que compõem a superfície terrestre em sinais elétricos; o sinal captado pelo sensor é digitalizado na forma de uma malha ou grade digital, onde cada célula tem uma correspondência espacial e possui um atributo numérico; cada registro numérico representa

a intensidade da energia eletromagnética refletida pelos elementos pertencentes a uma determinada porção do terreno. (Crósta,1992; Novo, 1989; Jensen, 1996).

Os sinais elétricos produzidos pelo sensor são transformados em dados numéricos, sendo assim possível a manipulação dos dados em ambiente computacional. Através da aplicação de algoritmos acessados por intermédio de comandos computacionais, é possível gerar representações gráficas na tela do computador (visualização), bem como, a extrair novos dados por meio do processamento digital. Os aspectos que envolvem o processamento do sensoriamento remoto orbital, ou seja, procedimentos técnicos usados para extrair informações úteis dos dados disponibilizados nas imagens de satélite é conhecido como processamento de imagens digitais.

As técnicas de processamento de imagens podem ser usadas para *a análise de dados* de sensoriamento remoto e sua aplicação se dá de duas maneiras: através do processamento analógico, com análise interpretativa de produtos visuais (fotográficos; imagens; material impresso) e edição manual e; aplicando-se processamento digital de imagem (PDI) através de algoritmos. Tanto uma aplicação quanto outra, possibilita a exploração visual dos dados de modo a discernir os objetos da superfície terrestre (Piickover, 1991, apud Jensen, 1996). Segundo Crosta (1992) o PDI de sensoriamento remoto trata especificamente de técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação, uma vez que as imagens produzidas por sensores remotos carregam em si uma enormidade de dados úteis na manipulação digital. De acordo com Novo (1989), tais procedimentos dizem respeito especificamente às técnicas de pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação das imagens de satélite.

Como indicado por Crosta (1992), o motivo do processamento digital advém do fato da imagem conter quantidades muito maiores de informações, que o olho humano é capaz de perceber, se a mesma for interpretada em papel fotográfico ou mesmo na tela de um computador. Pelo processamento digital, um intérprete pode perceber outras informações e proceder de maneira mais seletiva, extraindo da imagem o que lhe é de interesse específico.

De acordo com Novo (1989), a análise dos dados efetuada por meio da interpretação visual não é tarefa simples. Para este trabalho existem diversos manuais de fotointerpretação que apresentam técnicas de extração de informações de imagens

processadas opticamente. Todavia, a complexidade da aquisição de informações através da interpretação visual foi aumentando à medida que as resoluções espectrais passaram também a se ampliar. Também por este motivo, o PDI passou a ser cada vez mais solicitado, no sentido de auxiliar na etapa de análise de dados e extração de informações das imagens. Convém destacar que, os procedimentos técnicos do PDI não dispensam a interpretação visual, ao contrário, fornecem melhores condições para a etapa de pós-processamento, onde normalmente é solicitada a inspeção visual para editar polígonos, selecionar as classes temáticas específicas ou adequadas à escala de abordagem e outras rotinas de organização dos resultados.

Segundo Fonseca (2000), os procedimentos técnicos utilizados para o PDI podem ser resumidos em três etapas distintas (Fig. 5), a saber:

a) Pré-processamento de imagens. Fase esta que inclui a restauração quantitativa da imagem para correção de degradações provocadas durante o processo de formação das mesmas. Inclui-se ainda a técnica de georeferenciamento e registro para a aplicação de *overlay* e mosaico.

b) Realce de Imagens. Onde são aplicadas técnicas que permitem melhorar o aspecto visual e transformar as imagens, favorecendo o discernimento das informações por meio de alterações provocadas nos valores unitários da matriz.

c) Análise de imagens. Diz respeito à extração de informações a partir das imagens. Nesta etapa estão envolvidas as técnicas de segmentação e classificação onde é possível: reconhecer padrões, delimitá-los e discriminá-los qualitativamente ou quantitativamente.

As imagens obtidas por sensores orbitais também possibilitam a *representação das informações de forma a auxiliar na tomada de decisão*, pois permite a visualização espacial dos diferentes elementos constituintes da paisagem, resultando em um instrumento grande utilidade para a geografia como um todo, seja para a cartografia, seja para a geografia urbana, agrária, geomorfologia, entre outros.

Um aspecto a se destacar é que estas imagens são as melhores fontes para auxiliar na determinação do *uso da terra e cobertura vegetal.* Como atualmente a cobertura do solo é alterada principalmente pela ação do homem, a interpretação de imagens de satélite é uma

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCU... UTE

forma indireta de inserir, num ambiente de Geoprocessamento, a dinâmica dos processos econômicos e sociais (Fonseca, 2000).

As informações geradas a partir das imagens de satélite quando trabalhadas em conjunto com outros tipos de levantamentos ambientais, possibilitam a compreensão da dinâmica da paisagem, uma vez que é possível retroagir no tempo[4], tornando-se assim uma importante fonte de informações para a análise têmporo-espacial. Como fora destacado por Crepani *et al.* (1996), a integração das informações disponíveis nas imagens de satélite através o processamento digital e da interpretação visual fornece melhores e mais completos resultados para a compreensão do meio ambiente em seu conjunto.

Enfim, o uso de imagens de Sensoriamento Remoto como fonte atualizada de informação para produção de mapas, bem como, sua utilização para o conhecimento sobre o espaço habitado, espaço produzido e espaço preservado têm sido um dos grandes impulsionadores na inovação de pesquisas em geoprocessamento.

As imagens satélites já têm se mostrado como importantes instrumentos na compreensão dos processos naturais e de ocupação humana, e poderão num futuro próximo contribuir ainda mais na difusão deste tipo de estudo, à medida que se for registrando informações e dados da superfície da Terra com equipamentos capazes de fornecer melhores resoluções.

De acordo com Florenzano (2002), as imagens de satélite proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) das extensas áreas da superfície terrestre. Mostram os ambientes e suas transformações, destacando os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem através do uso e ocupação do espaço.

2.3.1 Pré- Processamento

Segundo Novo (1989) as técnicas de pré-processamento dizem respeito a recursos que possibilitam a transformar os dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente.

A radiometria pode ser entendida como sendo os números digitais que compõem a matriz de uma imagem; no caso das imagens de satélite são expressos através dos níveis de

[4] Em virtude do recente desenvolvimento destas tecnologias, este retrocesso é da ordem de algumas décadas.

cinza que, em seu conjunto, formam a representação gráfica, seja na tela de um computador, seja no papel impresso. Os procedimentos que envolvem a transformação dos valores radiométricos têm por finalidade excluir distorções, degradações e ruídos que muitas vezes são introduzidos no processo de formação da imagem. Embora muitas imagens disponibilizadas atualmente já venham com as principais correções processadas, algumas rotinas podem ser utilizadas para melhorar o aspecto visual da imagem ou mesmo fornecer dados mais acurados para o processamento digital.

A orto-retificação é um processamento anterior à etapa de realce da imagem. Conhecido também por registro ou georeferenciamento, este procedimento consiste em uma transformação geométrica a partir do relacionamento das coordenadas da imagem (linha, coluna) com as coordenadas de um determinado sistema de referência. Pelo fato de as imagens geradas por sensores remotos não possuírem uma precisão cartográfica, tal procedimento acaba sendo necessário para se fazer a integração de imagens com mapas ou projeto de referência, desta forma o resultado acaba sendo a correção da geometria da imagem de acordo com as propriedades de escala e de projeção utilizados (Crósta, 1992).

2.3.3 Processamento digital de imagens na geração de mapa de uso da terra

De acordo com Crósta (1992) a classificação automática de imagens multispectrais é uma tarefa que atende a um dos principais objetivos do sensoriamento remoto, que é o de distinguir e identificar a composição de diferentes materiais da superfície terrestre.

O princípio lógico da classificação é o de identificar padrões de respostas espectrais de cada um dos variados tipos de coberturas que compõem a superfície da Terra. Diferentes tipos de mapas podem ser produzidos a partir da classificação de imagens de sensoriamento, dentre eles: uso da terra, solos e ocorrências minerais.

Para se obter melhores resultados na classificação das imagens digitais Jensen (1996) sugere que o analista faça primeiramente três verificações: um teste de hipótese em uma região selecionada da imagem, para avaliar qual será a melhor classificação a se usar; uma avaliação das especificações da imagem utilizada na classificação, principalmente no que diz respeito às resoluções; e testes para a seleção das melhores bandas a serem usadas na classificação, sendo importante considerar, nesta última etapa, os testes de autocorrelação entre bandas.

Embora a análise digital seja considerada menos subjetiva em relação a interpretação visual, as classes de uso da terra variam espectralmente, principalmente onde a cobertura da terra apresenta alta complexidade espacial. Tais classes muitas vezes fixam uma assinatura única e diferentes coberturas podem apresentar características espectrais semelhante. Esta confusão irá por sua vez introduzir erros no resultado da classificação (Mas e Ramíres, 1996).

Na interpretação visual avaliam-se características de tom, cor textura, tamanho, sombreamento, padrões, localizações e associações no sentido de identificar e deduzir a significância dos componentes da imagem. Na classificação digital convencional, a maioria destas características não tem nenhuma aplicabilidade.

Apesar das limitações advindas da avaliação espectral das imagens, sua validade está em orientar o trabalho do analista. Como as respostas espectrais variam de acordo como as características da superfície mapeada, os testes de verificação auxiliam na seleção das bandas para a classificação digital. Segundo Jensen (1996), a determinação das melhores bandas parte do julgamento sobre resultados estatísticos que permitem selecionar aquelas que melhor diferenciam os alvos. Sendo assim, a partir desta interpretação, eliminam-se da análise aquelas bandas que promovem informação espectral redundante.

O fato de se ter disponível um grande número de bandas espectrais para a classificação e usá-las simultaneamente não implica em melhores resultados, pois estes aparecerão conforme forem selecionadas as bandas que melhor definem o espaço de atributos. Mas e Ramíres (1996) demonstraram que há uma tendência a se perder em acurácia da classificação, quanto maior for número de variáveis inseridas no processo de classificação. A propósito disso, Kent et all (*apud* Mas e Ramíres, 1996) em um estudo sobre métodos para melhoramento da acurácia na classificação do uso da terra por meio de imagens do *Thematic Mapper*, concluíram que o uso de cinco ou seis bandas do TM-Landsat, ao invés de quatro, resultou em declínio da exatidão e apenas ganho marginal de informações.

No contexto da importância dos testes estatísticos iniciais, a escolha da técnica de classificação digital pode ser feita de modo similar. Considerando os dois tipos de classificações existentes - o supervisionado e não supervisionado –, verificações iniciais podem ser processadas em torno dos resultados disponibilizados por ambos os modelos, e

assim avaliar as melhores bandas e algoritmos para a classificação dos usos. Neste processo cabe estar atento para as características técnicas de cada um dos modelos. No método supervisionado a identidade e localização dos elementos da paisagem são conhecidos *a priori* e a combinação das classes de mapeamento se processa a partir da experiência ou interpretação visual do usuário. Na classificação não supervisionada a identidade dos tipos de cobertura (classes de mapeamento) não é indicada previamente e o grupamento das classes se dá acordo com as características espectrais da imagem.

O roteiro metodológico para a produção de um mapa de uso da terra por meio da classificação supervisionada pode seguir o seguinte esquema:

1. Seleção das classes temáticas identificadas na área de estudo.

2. Escolha do conjunto de amostras para treinamento representativas de cada uma das classes.

3. Estabelecimento de parâmetros para o agrupamento das classes através da escolha do algoritmo de classificação mais apropriado.

4. Rotulação de cada região de acordo com uma classe definida, tendo por base os parâmetros usados pelo algoritmo;

5. Geração de um mapa temático que mostra o resultado da classificação.

6. Edição das classes e estabelecimento das convenções cartográficas

De acordo com Crosta (1992), os métodos de classificação mais comuns utilizados na análise de imagens de sensoriamento remoto são os métodos do paralelepípedo, o qual cria 'caixas' usando valores de reflectância mínimos e máximos dentro de cada área de treinamento, assim se um dado pixel cair dentro do espaço deste atributo ele será classificado naquela categoria; o método da distância mínima, que calcula a distância do valor de reflectância de um *pixel* em relação a média espectral das assinaturas e assim classifica o *pixel* na categoria com média mais próxima a sua; e o método da máxima verossimilhança, onde a distribuição de valores de reflectância em uma determinada área de treinamento é descrita através de uma função de densidade de probabilidade, assim o *pixel* é classificado na categoria para a qual tem maior probabilidade de associação.

Mascaro e Ferreira (2003) demonstraram a importância do cálculo da exatidão da classificação das categorias mapeadas ao conduzir um trabalho de comparação entre os diferentes algoritmos de classificação supervisionada. Aplicado ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal em uma área com predomínio de vegetação de cerrado, o tipo de algoritmo utilizado apresentou uma sensível diferença no desempenho da exatidão da classificação. No caso o método da máxima verossimilhança demonstrou ser a melhor opção na classificação de categorias para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal para a área de estudo.

A classificação supervisionada permite uma maior interação do usuário através das amostras de treinamento. Sendo assim, é inevitável o conhecimento prévio da área de estudo para que se delimite na imagem as áreas representativas de cada categoria de uso. Considerando que é a partir destas amostras que o algoritmo de classificação estima os parâmetros estatísticos relativos aos níveis de cinza que definem cada classe temática, é importante que as amostras de treinamento sejam homogêneas e representativas das categorias de interesse (Novo, 1989). As amostras são normalmente delimitadas na imagem representada em composições coloridas, onde são combinados filtros azul, vermelho e verde sobre diferentes *tripletes* de bandas disponíveis na imagem.

Na classificação não supervisionada as classes temáticas são definidas *a posteriori*, portanto, faz-se necessário o conhecimento prévio mínimo da área de estudo, que pode advir de diversas maneiras: seja por intermédio da interpretação visual de composições coloridas ou fotografias aéreas, seja por procedimento dedutivo ou conhecimento heurístico, seja por intermédio de visitas ao campo. Tal conhecimento se faz necessário para a determinação das classes a serem geradas automaticamente. A maior dificuldade para o analista reside na grande dependência à resposta espectral dos alvos que esta classificação demanda. Independentemente das limitações que possam advir deste tipo de classificação, sua utilização poder ser válida para a verificação de como se processam os agrupamentos das classes temáticas ou mesmo auxiliando no trabalho de inspeção em campo.

Uma maneira alternativa de utilizar a classificação não supervisionada é através da técnica de análise de dados auto-organizado (ISODATA), que permite uma interação

mínima do usuário com o sistema. Esta pequena participação se dá pelo estabelecimento de um limiar de agrupamento de classes que, no caso, irão corresponder às categorias com maio probabilidade de ocorrência na área.

É importante salientar que um algoritmo de classificação não é necessariamente mais vantajoso sobre outro, pois sua eficiência pode depender de características específicas da área de estudo, da imagem ou mesmo dos objetivos propostos. Tal fato foi demonstrado no trabalho desenvolvido por Alves *et* al. (1998) referente ao mapeamento de áreas de florestadas na Amazônia. Utilizando a classificação supervisionada e não supervisionada, nenhum algoritmo apresentou desempenho satisfatório sobre o outro. Todavia as porcentagens de erro resultaram de fatores ambientais locais, como: confusão entre áreas desflorestadas e vegetação nativa arbustiva, confusão entre floresta e vegetação secundária em estágio avançado de regeneração, confusão entre vegetação secundária e floresta iluminada (em áreas de relevo movimentado) e diferenças de borda.

Embora as técnicas digitais sejam de grande valia para a produção de um mapa de uso da terra, os resultados podem muitas vezes não se apresentar adequados para a representação cartográfica ou para a utilização em determinadas escalas de abordagem, fazendo-se necessário a edição e adequação do mapa para o fim proposto.

De acordo com Anderson (1979), dentre os fatores metodológicos importantes que são considerados no processo de produção de um mapa de uso da terra, dois merecem destaque: primeiro, é essencial o conhecimento que se tem do modelo de uso da terra numa determinada porção do espaço e das mudanças ali ocorridas ao longo do tempo. Este fato é algo que está intrinsecamente ligada ao olhar do analista sobre seu objeto de estudo; em segundo lugar, as técnicas de classificação do uso da terra e cobertura vegetal em uma dada porção do terreno devem ser feitas a partir de uma abordagem numérica objetiva. A definição de parâmetros e limiares neste processo depende do conhecimento do usuário, do mesmo modo como a avaliação dos resultados obtidos.

2.4 Integração entre Sensoriamento Remoto e Sistemas de informações geográficas.

A crescente importância do uso Sensoriamento Remoto como fonte atualizada de dados para serem utilizados nos Sistemas de informações geográficas se deve, principalmente, a

dois fatores: ao surgimento de sensores instalados em plataformas orbitais trabalhando com resoluções cada vez mais sofisticadas; e ao grande volume de dados sobre o espaço terrestre que os equipamentos sensores vêm produzindo ao longo das últimas décadas.

Segundo Wash (1990, *apud* Câmara *et al.*, 1996b), no passado a integração entre os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto era feita apenas em uma direção: *input* de dados produzidos por meio de sensoriamento remoto nos sistemas de informações geográficas. O sensoriamento remoto era então visto apenas como uma tecnologia de aquisição de dados, tendo uma função limitada dentro no contexto dos sistemas de informações geográficas. Com a evolução dos SIG's algumas operações foram implantadas, permitindo que a interpretação de imagens de sensoriamento remoto fosse efetuada em ambiente computacional, gerando vantagens em sua utilização e respectivamente uma ampliação da aplicação em vários campos de atuação.

Segundo Olenscki, (1994 *apud* Jensen, 1996), para se explorar satisfatoriamente as potencialidades do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, é necessário que estas tecnologias estejam integradas e, preferencialmente, compondo um banco de dados espacial. A integração entre os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto tem sido favorecida por uma série de avanços ocorridos no campo da ciência tecnológica, tais como:

- os avanços de *Hardware* e *softwares* ;

- a grande disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução em formato digital;

- o desenvolvimento de tecnologia de extração das informações contidas nas imagens dos satélites.

Adicionam-se ainda vantagens advindas da integração do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, tais como:

- a adequação das imagens de satélite para elaboração de mapas base e revisão de mapas já existentes, eliminando fases intermediárias;

- a possibilidade de visualização do terreno combinando imagens de satélites e modelo digitais do terreno;

- a utilização de imagens de sensoriamento remoto para atualização de bancos de dados dos sistemas de informações geográficas;

- o apoio dos sistemas de informação geografia no auxílio à interpretação de imagens

Levando em conta que as imagens de satélites trazem uma grande quantidade de dados com os quais é difícil trabalhar de forma analógica, a integração destas tecnologias aos sistemas de informações geográficas pode não somente auxiliar na manipulação de dados de sensoriamento remoto, como possibilitar a integração destes com outras fontes de informação de forma fundamental nas pesquisas atuais.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Base de Dados, Equipamentos e softwares computacionais.

Para a montagem de uma base de dados que pudesse fornecer meios para o desenvolvimento de uma pesquisa utilizando sistemas de informações geográficas, fez-se uso de imagens de satélite e mapas analógicos que foram, em parte, convertidos para o formato digital por meio de scanner de rolo com detector à *laser* e, em parte, capturados através de mesa digitalizadora (Tabela 5).

A escolha dos equipamentos e softwares para a montagem da base de dados geográficos foi feita considerando as ferramentas para a captura, transformação, modelagem e análise de dados e a capacidade destes equipamentos em processar estes recursos. Neste trabalho deu-se preferência aos *softwares* de livre distribuição no mercado e utilizou-se de micro-computadores.

Parte da pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Departamento de Geografia da USP, utilizando-se principalmente da infra-estrutura, de sistemas computacionais e periféricos.

Tabela 5 - *Bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto usados na pesquisa.*

BASES CARTOGRÁFICAS					
Fonte	**Descriminação**	**Escala**	**Folha**	**Projeção**	**Formato**
Quadricula São Carlos (IAC, 1984)	Levantamento pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo 1981	1:100.000	SF-23-Y-A-I	UTM	Analógico e digital
Instituto Geológico (1985)	Geologia	1:50.000 1984	SF-23-Y-A-I-2	UTM	Analógico e digital
IBGE-Carta do Brasil (1971)	São Carlos Topográfico	1:50.000	SF-23-Y-A-I-1	UTM	Analógico e digital
IBGE-Carta do Brasil (1971)	Corumbataí Topográfico	1:50.000	SF-23-Y-A-I-2	UTM	Analógico e digital
IMAGENS DE SATÉLITE					
Órbita/Ponto	**Satélite**	**Sensor**	**Data**	**Bandas**	**Formato**
220/75	Landsat-7	ETM+	23/03/2001	1,2,3,4,5,7 e pan	Matricial - Digital

Organização: Ricardo V. Ferreira

O software utilizado para a vetorização dos dados matriciais foi o R2V (Raster to Vector), o processamento de dados e análises foi realizado através do IDRISI versão 3.2 e

do SPRING (Sistema para o Processamento de Informações Georreferenciadas). O software R2V possibilitou maior agilidade na captura dos dados vetoriais, através de ferramenta de vetorização automática e sistema de armazenamento de dados. O software IDRISI foi utilizado para o provimento de ferramentas de processamento de imagens digitais não implementadas no SPRING, assim, sua utilização serviu como apoio para se construir o mapa de uso da terra e cobertura vegetal. No sistema SPRING realizou-se os principais processamentos e análises. O fato de consistir em um produto de livre circulação, o SPRING possibilita o acesso a partir de diferentes espaços físicos, isso facilitou a continuidade do trabalho ao longo da pesquisa, sem depender de laboratórios ou usuários licenciados em determinados produtos. A necessidade do uso de diferentes *softwares* adveio da importância de acessar diferentes módulos de montagem e análise de dados e facilidades logísticas, providenciando resultados satisfatórios.

3.3 Entrada, formatação e ajuste dos dados

No contexto dos sistemas de informações geográficas, a etapa de criação de um banco de dados digital é de grande importância, pois a utilidade das aplicações e operações que se dão no ambiente digital, tanto para a análise quanto para a representação cartográfica, dela depende.

O processo de captura de dados consiste em transformar mapas analógicos em digitais. Esta atividade consiste em digitalizar mapas a partir de fontes gráficas analógicas, de forma a armazená-las no banco de dados. Na presente pesquisa, este desse processo foi feito de diferentes maneiras: os dados presentes nas cartas topográficas foram capturados através de *escanner* de rolo e posterior vetorização semi-automática; os mapas de solo e geologia foram capturados através de mesa digitalizadora. Ao longo desta tarefa procurou-se estar atento para a manutenção da qualidade dos dados, corrigindo erros de captura durante a decodificação e armazenamento.

Após a aquisição das imagens de satélite procedeu-se nas rotinas iniciais de captura digital. Para tanto foi utilizado o módulo IMPIMA[5], que é uma plataforma do software SPRING que serve somente para se obter uma imagem na extensão melhor aceita pelo

[5] O módulo IMPIMA do produto SPRING é uma plataforma utilizada somente para se obter uma imagem no formato GRIB através da leitura de imagens ou dispositivos.

sistema. Neste módulo, a cena do Landsat foi recortada, de forma a se obter apenas as áreas referentes ao limite do município contido no retângulo envolvente do projeto.

Tendo adquirido os elementos necessários em formato digital, a primeira etapa consistiu em criar e modelar os dados de topografia, rede de drenagem, geologia e solos em um banco de dados único. Como as curvas de nível são amostras extraídas de cartas topográficas, estas foram modeladas na categoria modelo numérico do terreno, o que possibilitou a geração de dois produtos:

1- Grade retangular, obtida através do interpolador "média ponderada por cota e por quadrante". Este interpolador calcula o valor de cada ponto da grade a partir da média ponderada das cotas mais próximas a este ponto, utilizando então a (s) cota (s) da (s) isolinha (s) mais próxima (s) restringindo-se a apenas uma amostra de cada isolinha por quadrante, eliminando-se a obtenção de cotas repetidas;

2- O segundo produto foi a rede irregular de triângulos, que foi gerada a partir do estabelecimento de parâmetros de simplificação de linhas, visando eliminar pontos redundantes que por ventura pudessem ter sido adquiridos durante a digitalização dos dados. Assim, estabeleceu-se 30 metros de distância entre pontos de isolinha e linha de quebra sobre a drenagem (Figura 5).

Os dados extraídos dos mapas geológico e pedológico foram modelados como mapas temáticos, sobre estes, procedeu-se especificando suas respectivas classes temáticas. Normalmente, os sistemas de rede são modelados como dados cadastrais nos sistemas de informações geográficas, todavia aqui, a rede drenagem extraída da carta topográfica, foi modelada como mapa temático, pois sua utilização não visou à execução de análises topológicas, mas sim a realização de algumas tarefas, tais como: registro de imagens, operação de linha quebra sobre na geração da rede irregular de triângulos, cálculo da densidade de drenagem e overlay.

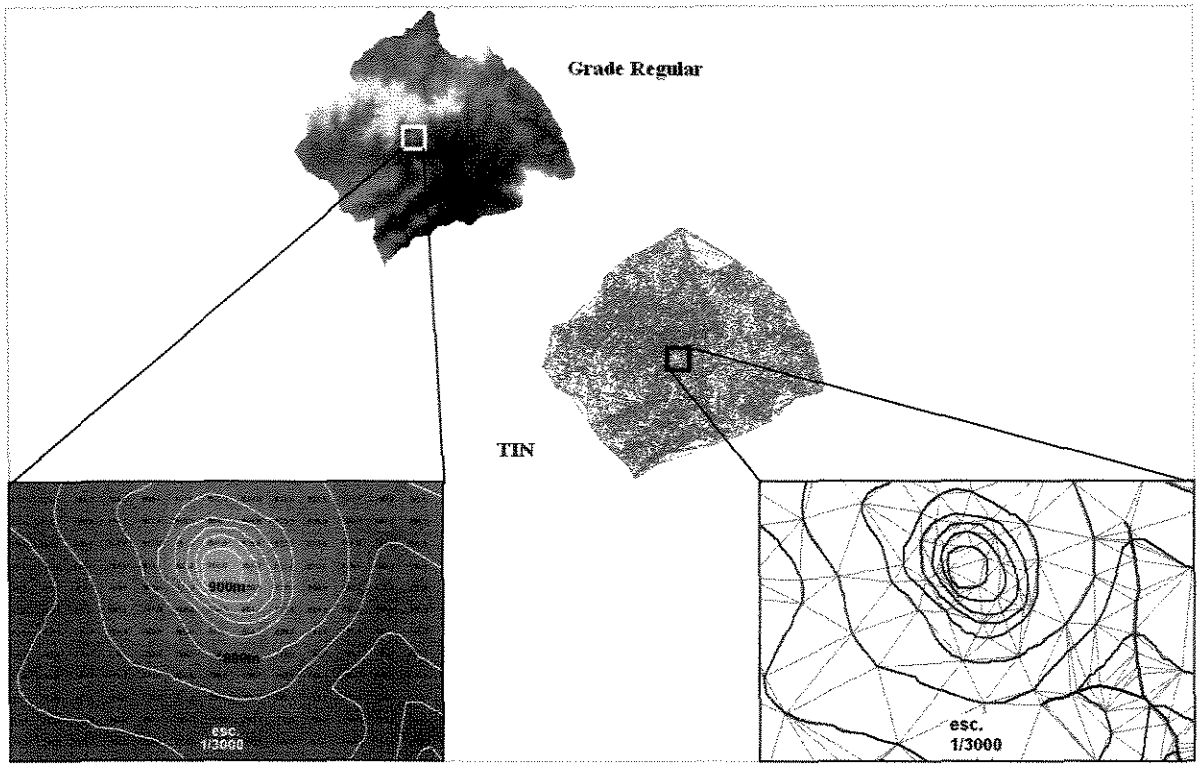


Figura 5 - *Ilustração do modelo de representação das grades Retangular e TIN*

Na definição do projeto estabeleceram-se os limites geográficos de área de estudo, bem como a projeção e outros parâmetros cartográficos. A partir daí foram elaborados diferentes planos de informação (PI), que funcionam como planilhas digitais onde são alocados os dados, e onde são armazenados objetos que possuem características comuns e pertencem a uma única categoria de modelo de dados (Tabela 6).

Tabela 6 – *Estrutura do banco de dados utilizado na pesquisa*

Aplicações	Categoria/Modelo	Representações Gráficas envolvidas	Plano de Informação (nome)
Drenagem	Temático	Vetorial	Drenagem
Limite municipal	Temático	Vetorial	Analândia_Lim
Uso da Terra	Temático	Vetorial/Matricial	Uso_2001
TM-Landsat	Imagem	Matricial	B1; B2; B3; B4; B5; B7; Pan-2001
Solos	Temático	Vetorial/Matricial	Solos
Geologia	Temático	Vetorial/Matricial	Geoglogia
Declividade	MDT	Vetorial/Matricial/Grade/TIN	DecliROSS

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Processamento de imagens digitais e geração de mapa de uso da terra e cobertura vegetal

O mapa de uso da terra foi elaborado tendo como apoio a utilização de imagens de satélite, processamento digital, visitas a campo e edição (Figura 6). A imagem usada foi integrada a uma base de dados e manipulada em ambiente de sistemas de informações geográficas. As etapas de construção do mapa serão descritas nos próximos subitens.

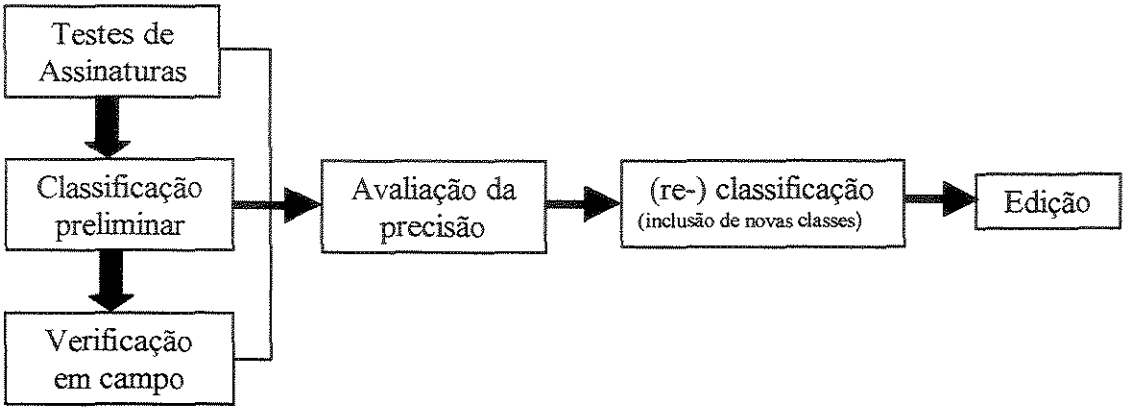


Figura 6 - *fluxograma de etapas do processo de classificação e geração de mapa de uso da terra e cobertura vegetal*

4.1.1 Registro de imagens

Inicialmente, a imagem de satélite foi registrada e inserida nas coordenadas geográficas do projeto. Tal procedimento consistiu em convertê-la em formato aceitável pelo software e posteriormente integrá-la no sistema de processamento, tendo por base os dados georreferenciados da hidrografia e rede viária, extraídos da carta planimétrica.

No software SPRING este procedimento é realizado interativamente, associando pontos que são reconhecidos na imagem e na base cartográfica. No processo de georreferenciamento das bandas da imagem foram associados 21 pontos de controle, apresentando erro médio de 1.173 pixel (Tabela 7).

Tabela 7 – *Pontos de controle adquiridos no processo de georreferenciamento da imagem nas coordenadas do projeto*

Ponto	Coordenada (Plana – UTM)			
	X	Erro X	Y	Erro Y
01	230396.2	0.468	7551234.0	-0.782
02	227488.9	1.986	7551736.3	0.480
03	228515.9	-0.272	7547618.4	-0.821
04	219485.2	-0.525	7545866.3	-1.611
05	221281.9	-0.063	7544059.4	1.094
06	215368.9	0.478	7549021.2	-0.785
07	213159.3	0.025	7553103.0	0.984
08	217651.4	0.231	7553791.0	0.322
09	233401.5	-1.238	7552925.0	0.114
10	224318.1	0.153	7551233.9	1.105
11	221927.7	-1.095	7550072.3	-0.531
12	223140.0	0.267	7556922.0	-0.869
13	220561.7	0.354	7553915.5	0.654
14	229252.2	1.461	7554305.8	0.579
15	229239.6	-0.891	7557099.6	0.123
16	224045.3	-1.688	7546113.4	0.106
17	225891.0	0.448	7543884.7	-0.479
18	224016.1	0.811	7543160.5	0.876
19	218038.0	-0.696	7555656.8	-0.990
20	220242.8	-1.025	7549701.2	0.533
21	215507.2	0.811	7547386.3	-0.101

Organização: Ricardo V. Ferreira

4.1.2 Classificação

Para a construção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi adotado um procedimento que abrangeu o uso diferentes técnicas, as quais serão descritas nos próximos parágrafos.

Inicialmente, foram realizados testes de assinaturas espectrais, que possibilitaram explorar como as diferentes coberturas refletem em cada uma das bandas disponibilizadas pela imagem. Assim, cinco tipos de coberturas - mata, pastagem, citricultura, cana-de-açúcar e solo exposto - foram facilmente discernidos e analisados (Figura 7). A visualização das médias obtidas pelo conjunto de cada classe de treinamento permitiu identificar quais bandas melhor diferenciavam os tipos de uso. Assim, as primeiras classificações foram executadas aplicando-se o algoritmo de máxima verossimilhança sobre diferentes combinações feitas com as bandas 2, 3, 5 e 7.

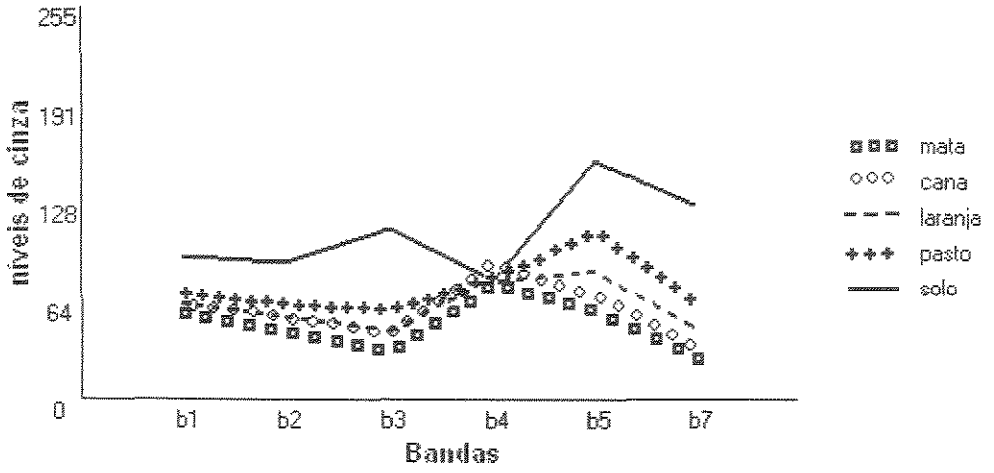


Figura 7 – *Gráfico de comparação das assinaturas espectrais*

Embora fosse possível identificar na imagem o perímetro da área urbana, a mesma foi desconsiderada no conjunto dos treinamentos, pois a redundância de dados gerados pela inclusão desta classe dificultava o discernimento de usos ocorrentes em áreas distantes do perímetro urbano. Assim, sua delimitação foi realizada somente na edição final do mapeamento por meio de interpretação visual na tela do computador.

Com diferentes mapas servindo de esboço da área, foi possível organizar um roteiro de visitas ao campo, tendo o auxílio de um GPS para registrar a posição dos pontos visitados e os tipos de usos da terra e cobertura vegetal. Em campo, foram coletadas informações sobre 53 pontos amostrais, identificando-se 11 classes predominantes de uso: cana-de-açúcar, mata, citricultura, pasto, capoeira, mata ciliar, reflorestamento, corpo d'água, solo exposto, campo sujo e mancha urbana.

A partir de pontos coletados *in situ*, avaliou-se a precisão das classificações preliminares, utilizando matrizes de erro contendo as cinco classes iniciais (Tabela 8). Pela matriz foi possível identificar que bandas poderiam ser mais favoráveis à execução da classificação final. Avaliando os resultados dos testes de assinaturas espectrais e da matriz de correlação, considerou-se que a combinação das bandas 2, 3 e 5 teriam probabilidade de fornecer melhores resultados.

Tabela 8 - *Matrizes de erro e das bandas classificadas.*

	CATEGORIAS DE USO E COBERTURA DO SOLO							
		VERDADE TERRESTRE						
		Mata	Cana	Citrus	Pasto	Solo	Pixels Amostrados	Erros de inclusão %	KIA %
BANDAS 4, 5 e 7	Mata	**14**	6	2	2	0	24	41	38
	Cana	1	**1**	0	0	0	2	50	41
	Citrus	0	0	**5**	0	0	5	0	100
	Pasto	0	0	1	**6**	0	7	14	80
	Solo	0	0	0	4	**4**	8	50	45
	Pixels Amostrados	15	7	8	12	4	**30**		
	Erros de omissão %	6.6	85	37	50	0			
	KIA %	86	10	57	41	100		34	
	Exatidão global = 30/46 = 65% Kappa global (%) = 53								

		Mata	Cana	Citrus	Pasto	Solo	Pixels Amostrados	Erros de inclusão %	KIA %
BANDAS 2, 3 e5	Mata	**13**	0	0	0	0	13	0	100
	Cana	1	**6**	3	4	0	14	57	32
	Citrus	1	1	**5**	0	0	7	28	65
	Pasto	0	0	0	7	0	7	0	100
	Solo	0	0	0	1	**4**	5	20	78
	Pixels Amostrados	15	7	8	12	4	**35**		
	Erros de omissão %	13	14	37	41	0		23	
	KIA %	81	79	55	50	100			
	Exatidão global = 35/46 = 76% Kappa global (%) = 69								

		Mata	Cana	Citrus	Pasto	Solo	Pixels Amostrados	Erros de inclusão %	KIA %
BANDAS 3, 4, e 5	Mata	**14**	0	1	0	0	15	6.6	90
	Cana	1	**6**	0	0	0	7	14	83
	Citrus	0	1	**6**	4	0	11	45	45
	Pasto	0	0	1	**8**	1	10	20	73
	Solo	0	0	0	0	**3**	3	0	100
	Pixels Amostrados	15	7	8	12	4	**37**		
	Erros de omissão %	6.6	14	25	33	25		19	
	KIA %	90	83	67	57	73			
	Exatidão global = 37/46 = 80% Kappa global (%) = 74								

		Mata	Cana	Citrus	Pasto	Solo	Pixels Amostrados	Erros de inclusão %	KIA %
BANDAS 3, 5 e 7	Mata	**14**	0	0	0	0	14	0	100
	Cana	1	**1**	0	0	0	2	50	41
	Citrus	0	6	**7**	0	0	13	46	44
	Pasto	0	0	1	**12**	1	14	14	80
	Solo	0	0	0	0	**3**	3	0	100
	Pixels Amostrados	15	7	8	12	4	**37**		
	Erros de omissão %	6.6	85	12	0	25		19	
	KIA %	90	10	82	100	73			
	Exatidão global = 37/46 = 80% Kappa global (%) = 74								

A classificação final foi feita utilizando o método de crescimento por regiões implementado no software SPRING. Por meio deste método os *"pixels"* da imagem são agrupados segundo um limiar de semelhança espectral e de área. A similaridade espectral é definida a partir de um limiar pré-estabelecido, o qual considera a distância Euclidiana mínima entre a média das regiões analisadas. Entende-se por "limiar de área" o valor da área mínima, dado em número de *pixels*, para que uma região possa ser individualizada.

Foram testados diferentes combinações de limiares no sentido de encontrar o par de limiares mais adequado para a individualização das regiões, sendo assim foi definido um par com similaridade espectral 8 e área por *pixel* 10.

A partir da segmentação das imagens, os usos e coberturas do solo foram definidos pelo classificador supervisionado por regiões (Bhattacharya) com a inclusão de um limiar de aceitação de 99% em relação às amostras a mapeadas.

Depois de feitos os procedimentos referentes à classificação digital, prosseguiu-se com a edição e juste das classes e legenda, tendo em vista a apresentação final do mapa de uso da terra e cobertura vegetal (Mapa 5).

Fonte: - ETM+/Landsat (órbita/ponto 220/2001; data: 23/03/2001)

Mapa 5 – *Mapa do uso da terra e cobertura vegetal do município de Analândia (SP)*

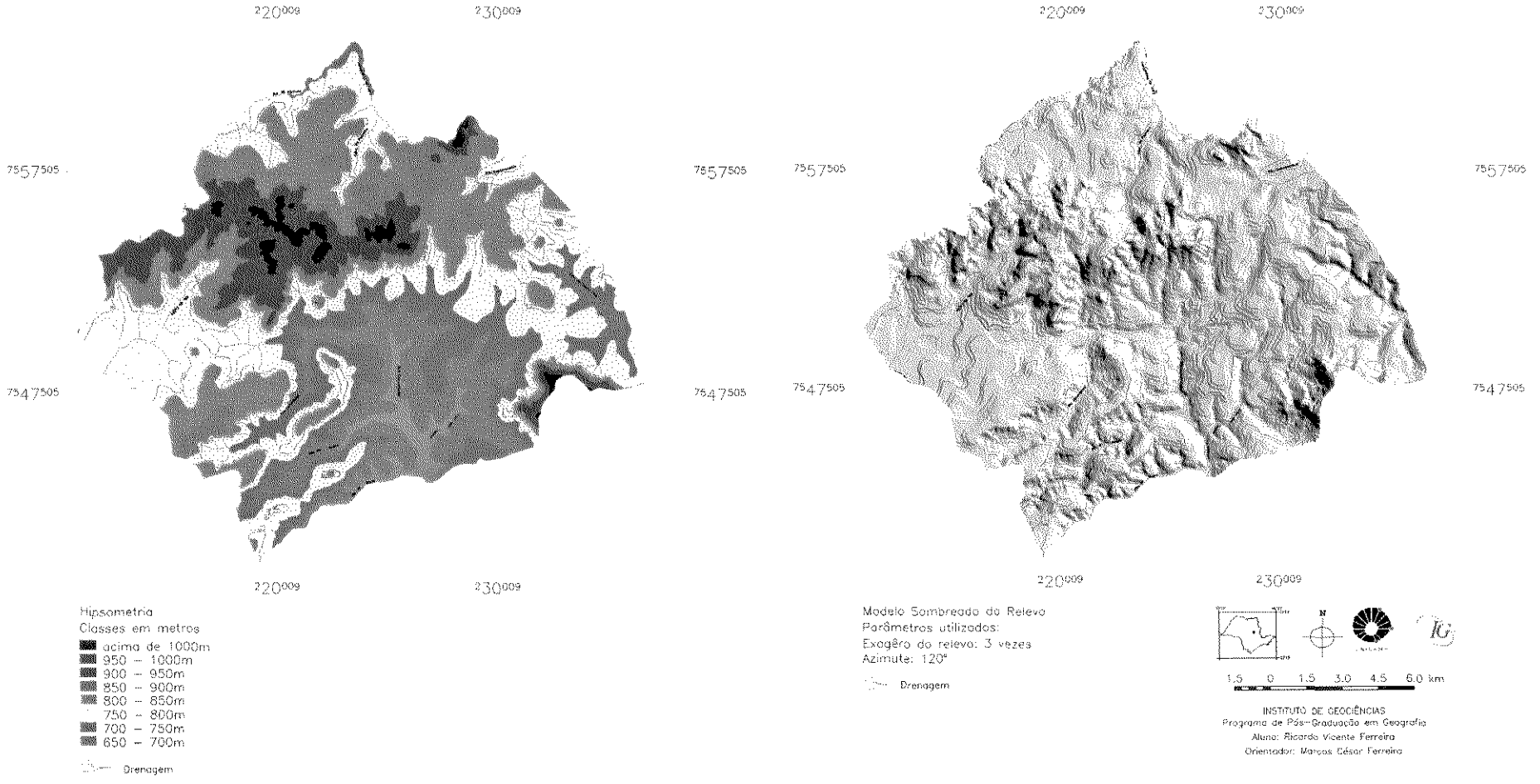
4.2 Modelo digital do terreno (MDT)

Qualquer representação digital da variação contínua do relevo ao longo do espaço é conhecida como um modelo digital do terreno ou modelo numérico do terreno. Embora o termo "modelo digital do terreno" (MDT) possa se prestar a diferentes fins, é normalmente associado à altimetria, ou seja, modelos de análise e representação de fenômenos relativos à topografia e outros tipos de informações concernentes à superfície contínua (Burrough, 1986).

Uma forma comum de se obter dados de altimetria em ambiente digital é através da digitalização de cartas topográficas e geração de produtos, tais como: grade retangular e rede irregular de triângulos. Todavia, é importante destacar que os avanços alcançados pelos sistemas orbitais de observação da Terra, possibilitam hoje, a aquisição de dados digitais de altimetria disponibilizados em formato *raster* com resoluções espaciais de 30m, 90m e 1km. Como exemplo, pode-se citar os sistemas SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

Na presente pesquisa, os dados de altimetria extraídos das cartas topográficas possibilitaram maior detalhamento das informações, os mesmos foram utilizados para construir modelos digitais do terreno. Os procedimentos adotados foram: a *escanerização* das cartas topográficas; vetorização; e interpolação dos dados.

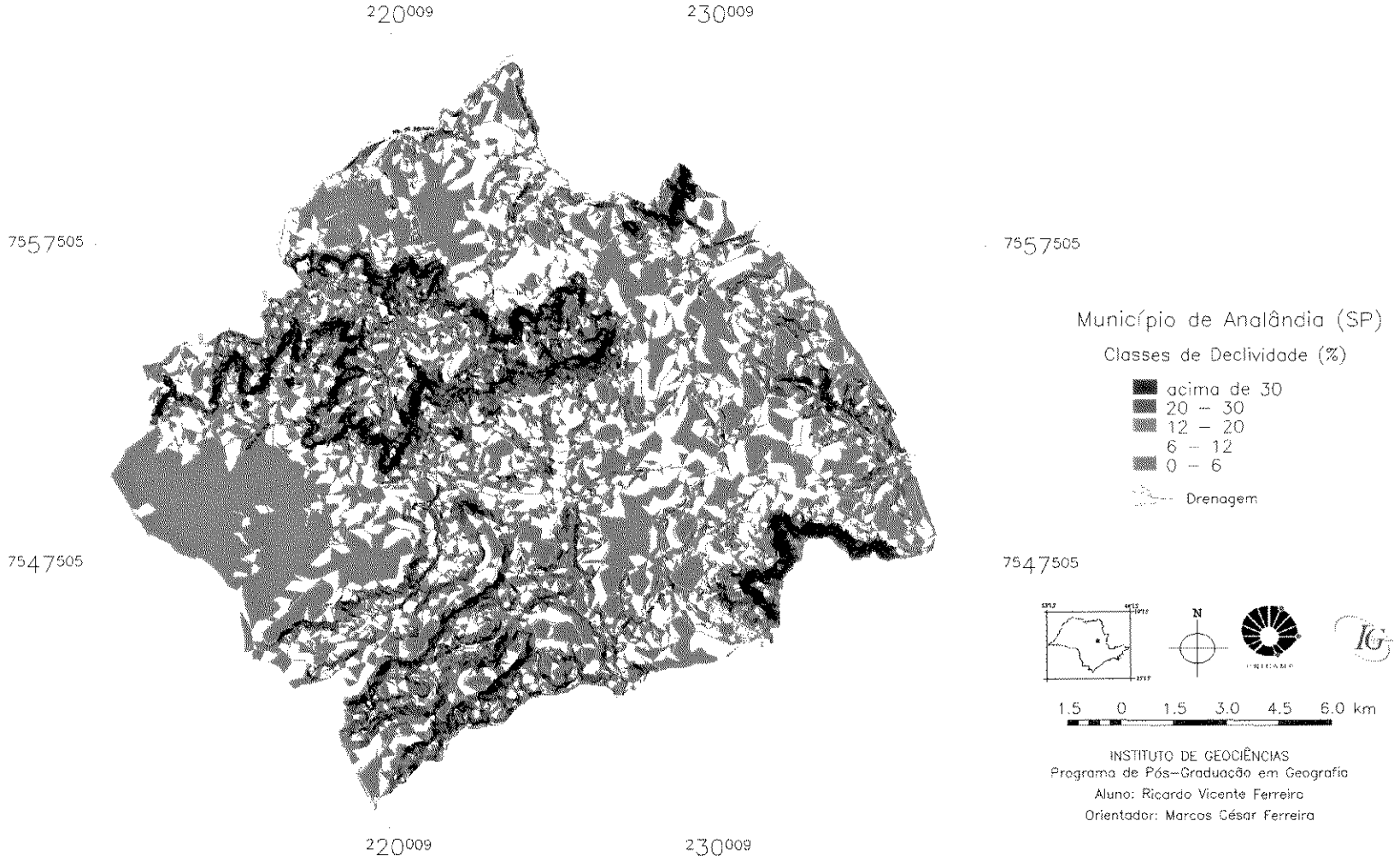
A partir da grade retangular de altimetria foram obtidos dois produtos: mapa hipsométrico fatiado em cotas de 50 metros (Mapa 6) e modelo sombreado do terreno, o qual forneceu melhor aspecto visual quando gerado com um exagero de relevo 3 vezes maior, azimute 120° e ângulo de elevação de 20° (Mapa 7). Estes modelos foram instrumentos de grande importância para a delimitação das unidades geossistêmicas, pois serviram como apoio à visualização dos patamares da área, proporcionando melhor interpretação dos diferentes níveis altimétricos da superfície do terreno, e possibilitando relacionar os elementos do relevo com a estrutura geológica e bacias de drenagem ocorrentes na área de estudo.



Fonte: IBGE, 1971 (Carta do Brasil – folhas Corumbataí e São Carlos)

Mapas 6 e 7 - *Produtos de MDT: Mapa Hipsométrico (esquerda) e Modelo Sombreado do Relevo (direita)*

Outro produto importante resultante de modelos digitais do terreno diz respeito ao mapa de declividade. Na pesquisa, este mapa foi gerado meio de rede irregular de triângulos (TIN) que, como apontado por Burrough (1986), a opção por este modelo permite obter melhor ajuste de grade nas áreas de topografia irregular, sem necessidade processar grande volume de dados para áreas de relevo suave. A grade foi gerada com linha de quebra sobre a drenagem da área no intuito de melhor preservar as feições geomórficas da superfície. As classes de declividade adotadas foram definidas em porcentagem, seguindo os intervalos de classe propostos por Ross (1994): 0 a 6%; 6 a 12%; 12 a 20%; 20 a 30%; acima de 30%. (Mapa 8)



Fonte: IBGE, 1971 (Carta do Brasil – folhas Corumbataí e São Carlos)

Mapa 8 – *Mapa de declividade do Município de Analândia (SP)*

4.3 Análise Espacial

A construção da base de dados geográficos, frequentemente, precede a tarefa de modelagem ambiental, pois é nela que estão armazenadas e disponibilizadas as estruturas e dados que serão utilizados para se fazer as análises pretendidas. Muitas vezes, estes dados podem não estar representados em categorias compatíveis, inviabilizando sua modelagem ou integração no contexto de uma determinada operação de análise. Para a organização destas estruturas, há a necessidade de uma série de conversões de dados, de forma a compatibilizá-los para manipulação. Na presente pesquisa tais tarefas foram continuamente empreendidas e, de um modo geral, os métodos de análise adotados foram operados sobre modelos de mapas temáticos, através dos quais foram feitos os principais processamentos de análise espacial (Figura 8).

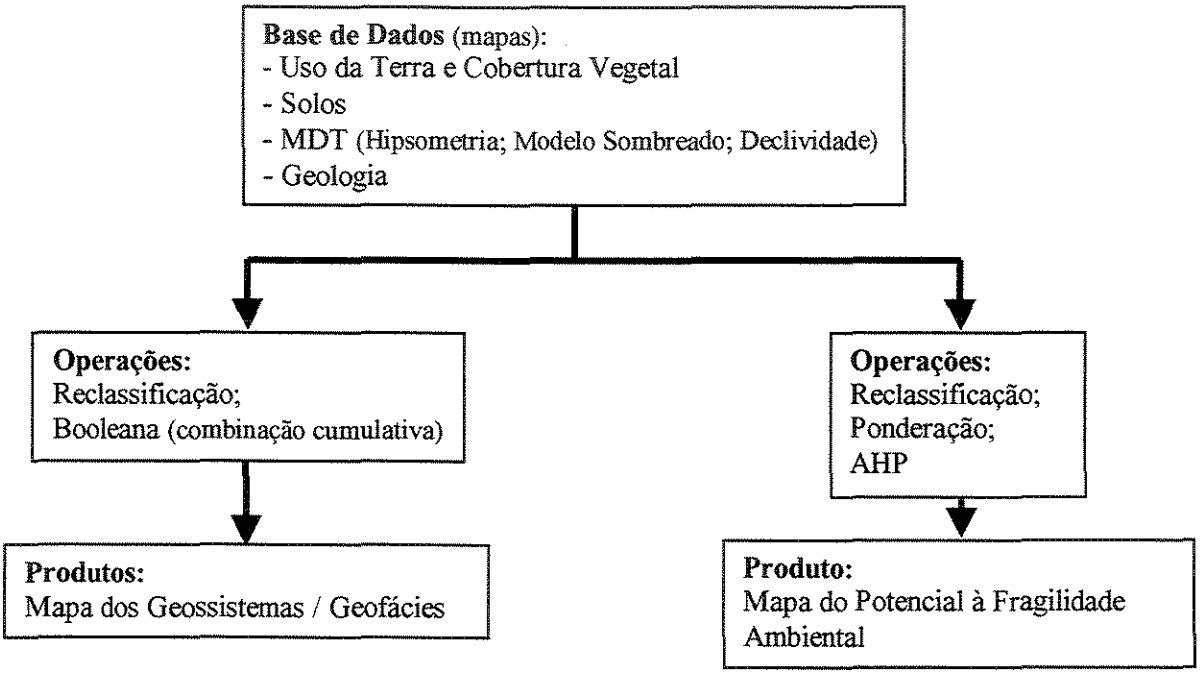


Figura 8 - *Fluxograma das etapas de análise espacial*

Os geossistemas foram delimitados combinando-se, primeiramente, os mapas de solo e declividade e, posteriormente, integrando o resultado desta combinação com uso da terra e cobertura vegetal de forma cumulativa. A pesquisa possibilitou que fossem levantadas 129 unidades paisagísticas possíveis, correspondendo aos polígonos das geofácies, os quais abarcam subdivisões dos geossistemas locais. Esses polígonos são representações das

características locais de declividade, solo e uso da terra e cobertura vegetal, definidos por meio de operações *booleanas* que integram duas matrizes de relação.

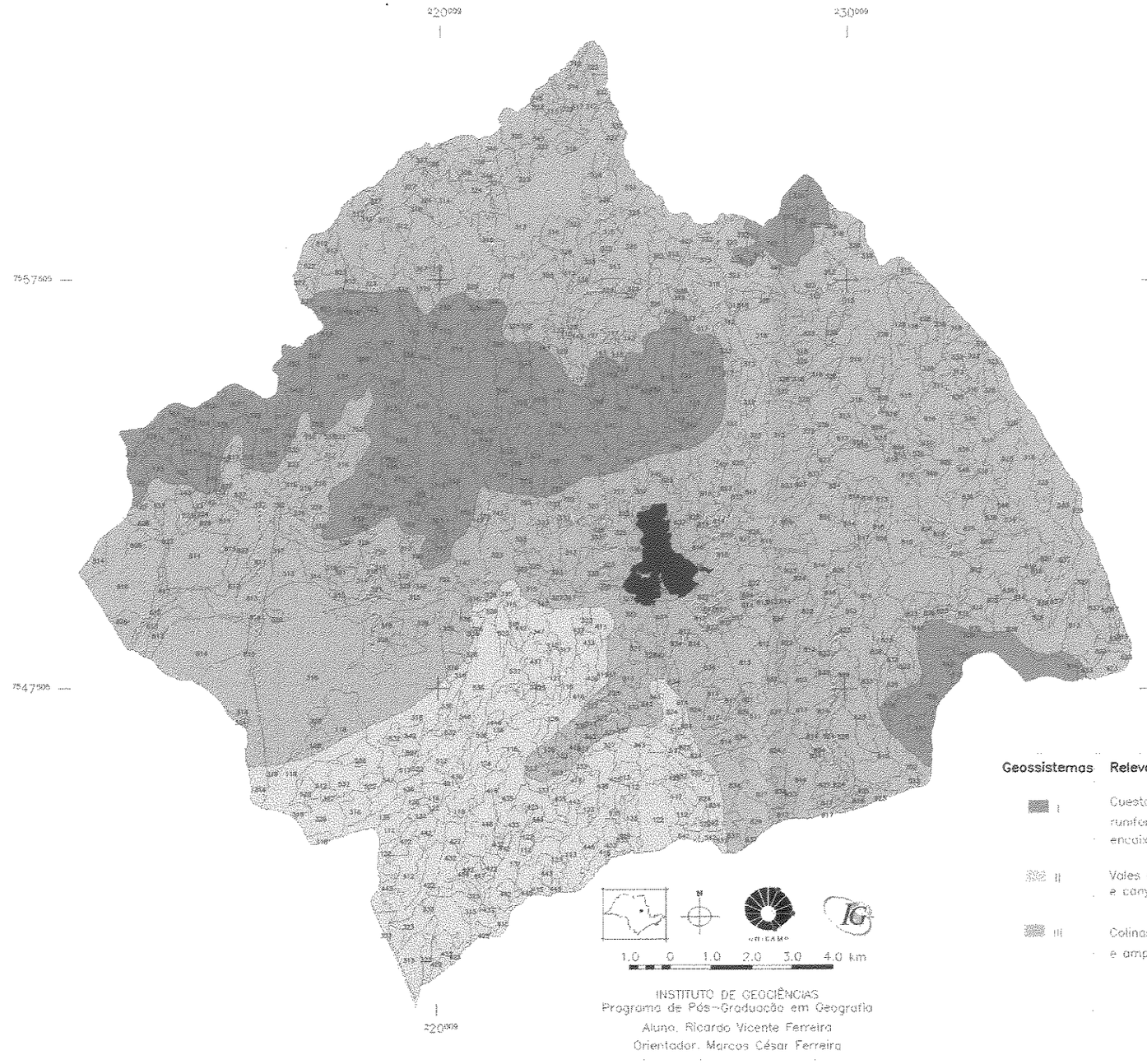
Inicialmente, as classes dos mapas de *solo* e do *uso da terra e cobertura vegetal* foram agrupadas em 8 categorias, a saber: os latossolos vermelho amarelo I e II foram reclassificados em "latossolos vermelho amarelo" e os podzólicos vermelho amarelo I e II em "podzólico vermelho amarelo"; quanto ao mapa de uso e cobertura, desconsiderou-se a área urbana no conjunto total das classes. Assim, foram geradas 320 classes contendo a combinação das três variáveis correspondendo às geofácies locais.

O grande número de classes obtidas dificultou a visualização no contexto de uma escala média apropriada para a visualização. No sentido de minimizar o número de classes geradas, fez-se o reagrupamento das mesmas, levando-se em conta limiares mínimos em área por m^2, uniformizando os temas. Diferentes filtragens foram feitas procurando encontrar um limiar adequado para a representação em escala média, chegando-se então ao valor de $80m^2$ (Tabela 9).

O delineamento das unidades, obtidas com base no mapeamento das variáveis ambientais descritas, gerou uma representação ambiental simplificada da área. Assim, o mapa dos geossistemas/geofácies é um modelo auxiliar à compreensão das unidades geoambientais locais (Mapa 9).

Tabela 9 - *Matriz de relação entre classes de uso da terra e cobertura vegetal, solo e declividade.*

				CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL							
	Solo	**Declividade**	**Código**	**Solo Exposto (1)**	**Mata (2)**	**Pastagem (3)**	**Silvicultura (4)**	**Mata Ciliar (5)**	**Cana-de-açúcar (6)**	**Mata Secund.ária (7)**	**Citricultura (8)**
CLASSES DE SOLO E DECLIVIDADE	LR (1)	0-6 (1)	11	-	112	113	-	115	116	117	118
	LE (2)	0-6 (1)	21			-			216	-	218
	LV	0-6 (1)	31	311	312	313	314	315	316	317	318
	TE (4)	0-6 (1)	41	411	412	413	-	415	416	417	-
	PV (5)	0-6 (1)	51	-	512	513	-	515	516	517	-
	Hi (6)	0-6 (1)	61		-	613	-	615	-	617	-
	Li (7)	0-6 (1)	71	-	712	713			-		
	AO	0-6 (1)	81	811	812	813	814	815	816	817	818
	LR (1)	6-12 (2)	12	-	122	123	-	125	126	127	128
	LE (2)	6-12 (2)	22		-	223	224	-	226	-	228
	LV	6-12 (2)	32	321	322	323	324	325	326	327	328
	TE (4)	6-12 (2)	42	421	422	423	-	425		-	
	PV (5)	6-12 (2)	52	-	522	523	524	525	526	527	-
	Li (7)	6-12 (2)	72		-	723		-		727	-
	AO	6-12 (2)	82	821	822	823	824	825	826	827	828
	LR (1)	12-20 (3)	13	-	132	133		-	136		-
	LE (2)	12-20 (3)	23				-				238
	LV	12-20 (3)	33	-	332	333	-	335	336	337	338
	TE (4)	12-20 (3)	43	-	432	433	-	435	436	437	-
	PV (5)	12-20 (3)	53	-	532	533	-	535	536	537	538
	Li (7)	12-20 (3)	73	-	732	733		-		737	-
	AO	12-20 (3)	83	-	832	833	834	835	836	837	-
	LR (1)	20-30 (4)	14	-	142	143			-		
	LE (2)	20-30 (4)	24		-	243			-		
	LV	20-30 (4)	34	-	342	343		-	346	347	-
	TE (4)	20-30 (4)	44	-	442	443	-	445	446		-
	PV (5)	20-30 (4)	54	-	542	543	-	-	546		-
	Li (7)	20-30 (4)	74	-	742	743	-	745	-	747	-
	AO	20-30 (4)	84		-	843		-		847	-
	Li (7)	30 (5)	75		752				-		



MAPA DOS GEOSSISTEMAS E GEOFÁFIES DO MUNICÍPIO DE ANALÂNDIA (SP)

Código da geofácie: A B C

ABC

A = Solo
B = Declividade
C = Uso da terra e cobertura vegetal

Solo	Declividade	Uso da terra e cobertura vegetal
LR (1)	0 – 6 (1)	Solo Exposto (1)
LE (2)	6 – 12 (2)	Mata (2)
LV (3)	12 – 20 (3)	Pastagem (3)
TE (4)	20 – 30 (4)	Silvicultura (4)
PV (5)	> 30 (5)	Mata Ciliar (5)
Hi (6)		Cana-de-açúcar (6)
Li (7)		Mata Secundária (7)
AQ (8)		Citricultura (8)

Área Urbana

Geossistemas	Relevo	Geologia	Solo	Uso da terra e cobertura vegetal
I	Cuestas; Formas runiformes, Vales encaixados	Fm. Botucatu; Fm Sa Geral; Fm Itaqueri	Latossolos N. Litólicos Argissolo	Pastagem; Mata Silvicultura.
II	Vales encaixados e canyons	Fm. Sa. Geral; Fm. Pirambóia	Argissolo Latossolos	Pastagem; Mata Cana-de-açúcar; Mata ciliar
III	Colinas médios e amplos	Fm Sta. Rita do P. Quatro Fm. Pirambóia	Latossolos N. Quartzarênico	Pastagem; Mata Mata-ciliar; Silvicultura; Cana-de-açúcar; Mata secundária; Área urbana, Citricultura

MAPA 9 - Mapa dos geossistemas e geofácies do município de Analândia (SP)

A produção do mapa da fragilidade ambiental foi conduzida a partir da combinação entre diferentes mapas temáticos, correspondendo às seguintes variáveis: geologia, solos, declividade e uso da terra e cobertura vegetal. Considerando que cada um desses componentes integra os principais elementos da paisagem e contribuem de maneira diferenciada para a avaliação do potencial à fragilidade a erosão, procedeu-se no sentido de estabelecer graus de importância relativa para cada classe temática. Para a hierarquização dos elementos foram consultados 4 especialistas em geografia, aos quais questionou-se sobre o grau de importância relativa das classes temáticas de cada elemento, e de cada elemento entre si, na construção de uma avaliação a respeito do grau potencial à fragilidade ambiental aos processos erosivos. A partir da opinião destes especialistas - manifesta na forma de considerações e comentários -, organizou-se uma tabela contendo uma hierarquização de valores na escala de 0 a 1, com 0 indicando menor e 1 maior potencial à fragilidade ambiental.

Neste sentido, os solos foram hierarquizados em função de sua vulnerabilidade à erosão, considerando-se principalmente aspectos texturais e atributos discriminados na legenda do mapa de solos; a geologia, através da descrição do tipo de formação e suas respectivas características; o grau de proteção dado aos solos foi o fator considerado para a hierarquização do uso da terra e cobertura vegetal; e por fim, os intervalos de declividade foram organizados de acordo com as porcentagens de cada uma das classes, considerando os valores naturais, ou seja, adotando fator de julgamento objetivo. (Tabela 10).

No geossistema II, estão presentes 65 geofácies. Pode-se dizer que a variabilidade de declives e usos aí presentes, favorece a delimitação de polígonos de menor dimensão espacial e, consequentemente, com maior variabilidade de categorias mapeadas. Os 10 maiores polígonos ocupam 33.10% da área total deste geossistema, ao passo que os 10 menores 2.28%.

No geossistema III, aparecem 95 das 129 classes delimitadas. Nesta área a maior homogeneidade da paisagem favoreceu a presença de grandes polígonos de geofácies. Como exemplo tem-se 12 maiores polígonos de geofácies cobrindo uma superfície de 106.07 Km^2, o que representa mais de 50% da área deste geossistema e 32% da área total do município. Observa-se nesta superfície que as baixas e médias declividades estão associadas aos latossolos e neosolos quantzarênicos juntamente com uso predominante de pastagens, citricultura e cana-de-açúcar. Nesta unidade resumem-se as principais características da área de estudo no que tange a relação das três variáveis abordadas: solo, declividade e uso (Mapa 9).

4.6 Potencialidade à fragilidade ambiental com apoio nas unidades geoambientais

A observação geral dos resultados nos permite caracterizar a área de estudo como apresentando médio potencial à fragilidade ambiental (Figura 11). Todavia, para uma interpretação mais acurada destes resultados, importa analisá-los do ponto de vista da distribuição espacial dos mesmos. Neste sentido, dois indicadores podem ser reveladores: (1) o contexto em que se encontra uma determinada área, pois a partir desta informação é possível inferir sobre os componentes da paisagem ali resumidos e quais deles são determinantes para a caracterização do grau de fragilidade; (2) a dimensão espacial das áreas (ou polígonos), pois uma grande área indicando "muito baixo" ou "baixo" potencial à fragilidade pode representar maior resistência, que de acordo com Christofoletti (1999), indica a capacidade que o sistema tem de permanecer sem ser afetado pelos distúrbios externos. Por sua vez, a áreas de pequena dimensão, quando fragmentadas espacialmente, podem revelar um dado negativo caso estas apontem para a condição de "muito alto" e "alto" potencial à fragilidade ambiental, pois no que se refere à estabilidade da área, o fato de problemas ambientais efetivos serem identificados por meio de um diagnóstico ambiental, estes indicadores podem estar revelando que a paisagem está sendo degradada

Tabela 10 – *Hierarquia de valores atribuídos às classes temáticas dos principais elementos da paisagem.*

Geologia			
Cronologia	***Sigla***	***Descrição***	***Ranking***
Quaternário	Q	Areias, Argilas e Cascalhos	1
Terciário	Tsr	Fm. Santa Rita do Passa Quatro (areias e cascalhos)	1
Cretáceo / Terciário	KTi	Fm. Itaqueri (arenitos e arenitos conglomeráticos)	0.6
Jura-Cretáceo	JKsg / V	Fm. Serra Geral (Basaltos-JKsg) intrusivas basálticas (diabásicos-V)	0.2
Jura-Cretáceo	JKb	Fm. Botucatu (arenitos e arenitos conglomeráticos)	0.6
Triássico	TRp	Fm. Pirambóia (arenitos)	0.8
Solos			
Classe	***Sigla***	***Descrição***	***Ranking***
Latossolo Roxo	LR	Eutrófico, A moderado, textura muito argilosa	0.2
Latossolo Vermelho Escuro	LE-1	Álico, A moderado, textura argilosa	0.2
	LE-2	Álico, A moderado, textura média	
Latossolo Vermelho Amarelo	LV-1	Álico, A moderado, textura média	0.6
	LV-2	Álico, A proeminente, textura muito argilosa ou argilosa	0.7
Podzólico Vermelho Amarelo	PV-1	Abruptico, Álico, A moderado, textura arenosa / média	0.8
	PV-2	Distrófico, A moderado, Textura média ou média / argilosa	0.6
Terra Roxa Estruturada	TE	Eutrófico ou distrófico, A moderado	0.2
Areia Quartzosas Profundas	AQ	Álica, A moderado	1.0
Solos Litólicos	Li	Eutróficos e distróficos, A moderado, textura indiscriminada	1.0
Solo Hidromórfico	Hi	Solos orgânicos, com ou sem gley úmido	0.2
Declividade			
Porcentagem			***Ranking***
0 a 6			0.2
6 a 12			0.6
12 a 20			0.8
20 a 30			0.9
Acima de 30			1.0
Uso da terra			
Tipo		***Descrição***	***Ranking***
Mata		Naturais e ciliar	0.2
Silvicultura		Eucaliptos / Pinos	0.4
Mata Secundária		Formações arbustivas espaçadas	0.4
Pastagem		Com baixo pisoteio	0.6
Solo Exposto		Preparo da terra; mineração; desmatamento.	1.0
Cultivos de Ciclo Longo		Café, Laranja	0.8
Cultivos de Ciclo Curto		Cana e Milho	1.0

Após a padronização das classes de cada variável temática, aplicou-se o procedimento analítico hierárquico (AHP), o qual possibilitou, através da combinação pareada, o cálculo da ponderação diferenciada de cada variável do conjunto de elementos e o controle do erro estatístico, através da razão de consistência. Sendo assim, o primeiro passo foi à estruturação da hierarquia de prioridades, que considerou o uso da terra e cobertura vegetal como sendo a variável determinante no objetivo da avaliação; um pequeno diferencial favorável foi aplicado à declividade em relação ao mapa de solos e; considerou-se menos determinante o Mapa Geológico (Tabela 11).

Tabela 11 - *Combinação das variáveis ambientais e estabelecimento da importância relativa na análise do suporte à decisão*

Critério	Peso		Critério
Declividade	5	Melhor	Geologia
Declividade	3	Algo Melhor	Solo
Uso	5	Melhor	Declividade
Solo	3	Algo Melhor	Geologia
Uso	6	Bem Melhor	Geologia
Uso	3	Algo Melhor	Uso

Com base na hierarquização, avaliou-se as relações de importância de cada elemento por meio da matriz de comparação pareada e observância da razão de consistência. Através da normalização da matriz pareada foi possível calcular os vetores de prioridades - a normalização dos valores de cada vetor coluna, o total de cada vetor resultante e sua divisão pelo número de elementos da linha fornece o resultado correspondente ao peso estimado de cada variável (Tabela 12). A razão de consistência ficou em 0.018. Através da operação *index overlay* foi possível ponderar diferentemente cada uma das variáveis utilizadas:

Ponderação = 0.544(usos e coberturas) + 0.233*(declividades) + 0.157*(solos) + 0.063*(formações geológicas)*

O resultado foi um mapa matricial com resolução de 30 metros e valores referentes ao resultado da soma da ponderação de cada classe temática (Figura 9).

Tabela 12 - *Matriz de comparação pareada e resultado do cálculo do vetor de prioridade estimado para a composição dos pesos.*

	Uso	Declividade	Solo	Geologia	**Vetor Coluna**	**Vetor de Prioridade**
Uso	1	3	5	6	2.177	0.544
Declividade	0.33	1	3	3	0.935	0.233
Solo	0.20	0.33	1	5	0.629	0.157
Geologia	0.16	0.33	0.20	1	0.255	0.063

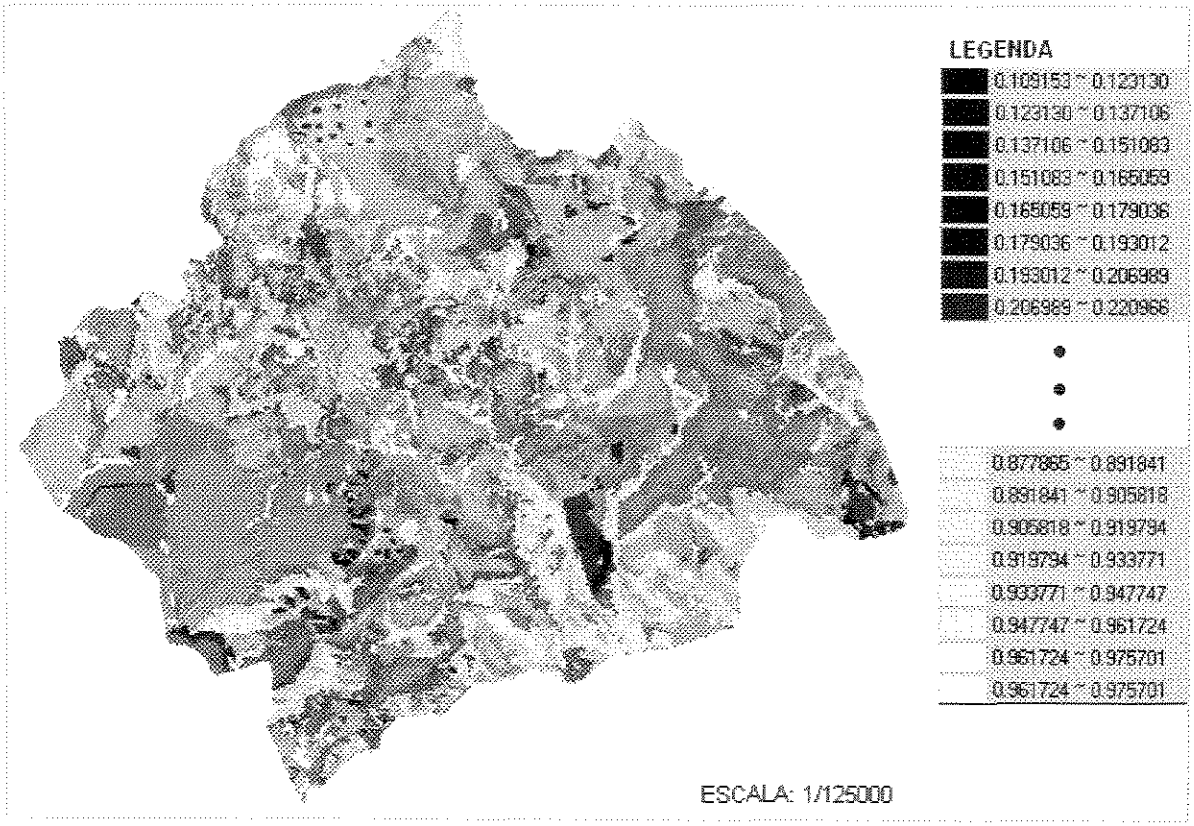


Figura 9 – *Matriz gerada por meio do processo analítico hierárquico (AHP)*

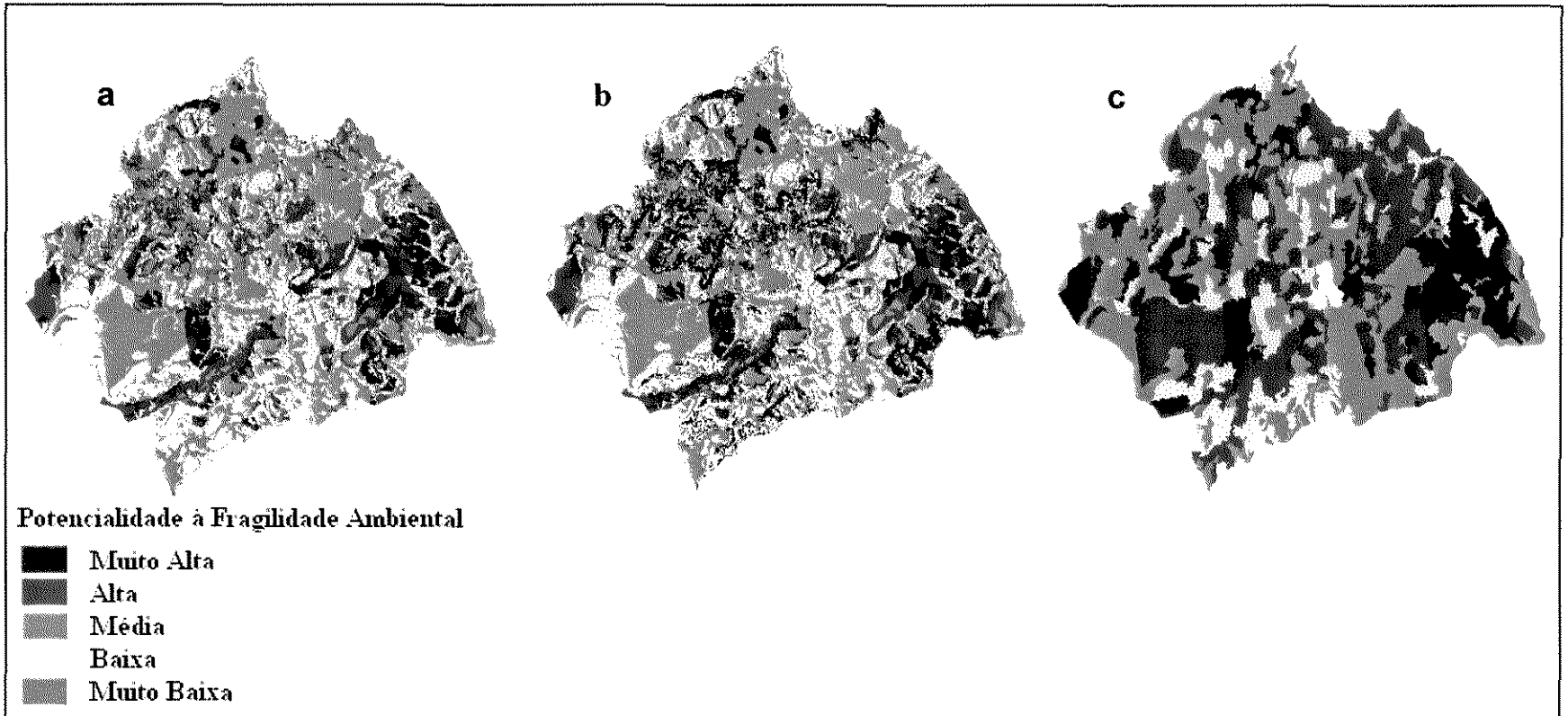
Considerando que o grau de fragilidade ambiental foi obtido através de médias sobre valores atribuídos às diferentes classes que compõem os elementos da paisagem, atentou-se para a possibilidade de obtenção de resultados pouco representativos em determinadas áreas do terreno. Assim, alguns resultados foram reavaliados e modificados por meio de operações de *overlay* e reclassificação, tendo como parâmetro a interpretação das unidades de paisagem (geossistemas locais) (Figura 10-a).

De acordo com a proposta de Ross (1994), a alta declividade é um fator determinante na condição de fragilidade ambiental. Considerando que um importante aspecto geoambiental da área diz respeito ao front da cuestas – área marcada por altas declividades em terrenos geológicos quaternários (areias, argilas e cascalhos) -, fez-se um detalhamento destes ambientes, incluindo declividades superiores a 30% como fator indicativo de muito alto potencial à fragilidade ambiental (Figura 10-b).

Procedeu-se de forma semelhante na determinação da avaliação da fragilidade ambiental dos polígonos de geofácie, porém não considerando a variável ambiental "geologia". Novamente foram estabelecidas as relações de importância de cada elemento por meio da matriz de comparação pareada e normalização da mesma, calculando-se os vetores de prioridades (Tabela 13). Os resultados foram fatiados em *quintis*, fornecendo uma representação gráfica correspondente às classes de fragilidade ambiental da área (Figura 10-c).

Tabela 13 - *Matriz de comparação pareada e resultado do cálculo do vetor de prioridade estimado*

	Uso	Solo	Declividade	**Vetor Coluna**	**Vetor de Prioridade**
Uso	1	3	5	1.901	0.637
Solo	0.33	1	3	0.782	0.258
Declividade	0.20	0.33	1	0.318	0.105



a- Fatiamento das classes da matriz AHP de acordo com a proposta de Ross(1994)	**b**- Fatiamento das classes da matriz AHP de acordo com a proposta de Ross (1994) e inserção das classes de declividade maiores ou iguais a 30%	**c**- Fatiamento das classes de geofácies de acordo com os resultados do procedimento AHP e proposta de Ross(1994)

Figura 10 - *Três modelos (a; b; c) de representação das classes de fragilidade ambiental no município de Analândia (SP)*

4.4 Caracterização do uso da terra e da cobertura vegetal

No município de Analândia, o uso da terra é predominantemente agropecuário. Como pode ser observado no mapa de uso da terra e cobertura vegetal, a maior parcela do terreno é ocupada por pastagens e cana-de-açúcar, juntos perfazendo 45% da área total do município. (Tabela 14)

Tabela 14 - *Superfície total e relativa das classes de uso e cobertura do solo do município de Analândia - SP*

Uso da terra e cobertura vegetal	Área	
	ha	**%**
Solo exposto	573	1.74
Mata	5076	15.49
Citricultura	3353	10.23
Mata ciliar	2882	8.79
Área urbana de Analândia	229	0.69
Represas e lagos	61	0.18
Cana-de-açúcar	5196	15.85
Mata secundária	3330	10.16
Pastagem	9524	29.06
Silvicultura	2540	7.75
Total	32764	100,00

A predominância do uso agrícola da terra favoreceu a fragmentação florestal, que tende a se concentrar em áreas onde o acesso é dificultado pelo relevo fortemente acidentado. Somente 15.49% da área é ocupada por mata, que inclui também remanescentes de cerrado. Este valor é muito semelhante aos encontrados por Valente (2001) e Koffler (1994) em mapeamentos do uso da terra e cobertura vegetal da sub-bacia do Alto Corumbataí. Comparando-se os resultados da presente pesquisa com os obtidos por estes autores, nota-se que ao longo da última década a área correspondente à vegetação original se manteve praticamente preservada.

Como fora apontado por Koffler (*op. cit.*), esta porção da área da bacia do Corumbataí integra as terras mais apropriadas para a reserva natural, quando comparados com terrenos que compõem as demais sub-bacias deste rio. Apesar da grande extensão de terras utilizadas por pastagens, a produção animal extensiva é de baixa rentabilidade econômica,

assim gradativamente essa atividade tende a ser substituída por outras mais lucrativas. Este autor ainda enfatiza que, diante das limitações naturais apresentadas por algumas porções do terreno para o aproveitamento agrícola, é importante prescrevê-las como sendo áreas de interesse a preservação.

Outra importante característica que torna Analândia uma área de relevante interesse para a conservação é o fato de suas águas integrarem algumas cabeceiras das bacias do Corumbataí e do Moji-Guaçu, imbuindo de caráter significativo à condição de preservação de suas qualidades. Neste sentido, no que tange as condições das matas ciliares é mais indicado a preservação total dos remanescentes e a recuperação dos espaços perdidos ao longo dos cursos d'água.

4.5 Descrição das unidades geossistêmicas

Os geossistemas foram delimitados em dois diferentes níveis de grandeza. No primeiro nível três geossistemas foram individualizados, correspondendo às grandes unidades de paisagem que agregam características particulares do conjunto do relevo, geologia, solos, uso da terra e cobertura vegetal identificadas na área de estudo (Tabela 15).

Tabela 15 - *Características predominantes dos Geossistemas do município de Analândia - SP*

Geossistemas	Relevo	Geologia	Solo	Uso da terra e cobertura vegetal predominantes
I	Cuestas; Formas runiformes; Vales encaixados	Fm. Botucatu; Fm. Serra Geral; Fm. Itaqueri	latossolos; neossolo litólico; argissolo	pastagem; reflorestamento; mata
II	Vales encaixados e canyons	Fm. Serra Geral e Fm. Pirambóia	argissolo; latossolos	cana-de-açúcar; pastagem; mata ciliar; mata
III	Colinas médias e amplas	Fm. Santa Rita do Passa Quatro; Fm. Pirambóia	latossolos; neossolo quartzarênico	pastagem; mata; mata secundária; mata ciliar; citricultura; área urbana; cana-de-açúcar; silvicultura;

Mais da metade da área é abrangido pelo geossistema III (Tabela 16), onde é possível identificar parcelas de todos os tipos de usos e coberturas do solo correntes na área. Apesar

de o relevo desta porção ser praticamente composto por colinas amplas e médias, e apresentarem declividades predominantes que variam de 0 a 12% - o que tende a indicar maior estabilidade ecodinâmica se comparados com as outras unidades geossistêmicas -, os solos quartzarênicos, altamente friáveis, são mais ocorrentes nesta porção do território. Associado a estes solos encontram-se ainda representativas parcelas da terra sendo utilizadas pelo cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 16 - *Superfície total e relativa dos Geossistemas de Analândia - SP*

Geossistemas	Área	
	Km2	%
I	57.47	17.54
II	52.78	16.11
III	217.39	66.35
Total	327.64	100.00

O segundo nível de grandeza delimitado na área de estudo se refere às geofácies, as quais podem ser entendidas como unidades geossistêmicas mapeadas com maior detalhe. Estas unidades são definidas por polígonos que integram dados relativos ao solo, declividade e uso da terra e cobertura vegetal. Distribuindo-se diferenciadamente pela área de estudo, 129 classes geossistêmicas menores foram identificadas, sinonimamente correspondendo às geofácies locais.

No geossistema I, 48 classes de geofácies distribuem-se pelo território em polígonos de diferentes dimensões, exemplo disso pode ser observado no fato de os 10 menores polígonos abarcarem menos de 10% da área total desta unidade, ao passo que, a soma da área do 10 maiores indicarem uma superfície de 39.38 km^2, o que corresponde a 68.53% da área total deste geossistema. Os maiores polígonos caracterizam-se por conter declividades de médias e altas, solos litólicos e uso da terra e cobertura vegetal por mata e pastagens;

Em termos de área de cobertura, a classe mais expressiva deste geossistema é a que perfaz a borda e o front das cuestas (classe 752), ocupando 26.29 % do total da superfície desta unidade geossistêmica. Esta classe integra os neossolos litólicos em associação com as matas nas mais altas declividades – maiores ou igual a 30%.

em toda sua dimensão, sendo então necessário propor mudanças amplas em relação à gestão do uso da terra.

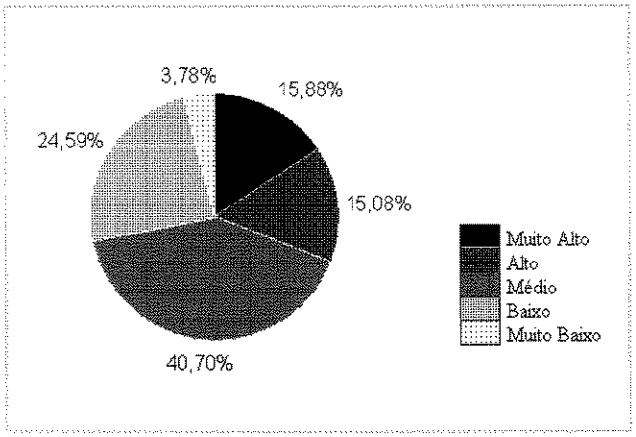


Figura 11 - *Porcentagem das classes do potencial à fragilidade ambiental a erosão no município de Analândia – SP*

No contexto dos ambientes geossistêmicos maiores é possível descrever de forma diferenciada os resultados obtidos. No domínio do Geossistema I encontram-se as porcentagens mais elevadas das classes de potencial "muito alto" e "alto", na ordem de 50.77% do território deste geossistema; as mais baixas porcentagens para estas mesmas classes são observadas no Geossistema III, equivalente a 25.71% em relação a sua área. Embora não apresente as mais baixas porcentagens das classes de potencial "muito alto" e "alto", o Geossistema II é a unidade que apresenta o maior potencial às características de estabilidade, 46.81% de seu território indica "muito baixo" e "baixo" potencial à fragilidade ambiental (Tabela 17).

A espacialização dos mais altos graus de fragilidade potencial ocorrentes na área de estudo pode também ser descrita em três ambientes distintos. O primeiro, localizado no Geossistema I, corresponde às terras que compõem a borda da Serra do Cuscuzeiro, perfazendo o contato das cuestas com a depressão, esta área é caracterizada pelo domínio das altas declividades e solos litólicos. Embora em sua maior parte o relevo bastante acidentado dificulte a ocupação e uso destes espaços e, consequentemente, favoreça a conservação da mata original, as atividades agrícolas permanecem ativas nas adjacências destas unidades, por vezes se estendendo até a borda das cuestas.

Tabela 17 - *Área total e relativa do potencial à fragilidade ambiental em Analândia, no contexto das classes geossistêmicas*

Graus de Fragilidade	G1		G2		G3		Área Total	
	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%
Muito Alto	18.86	32.94	8.15	15.52	24.92	11.44	51.93	15.88
Alto	10.21	17.83	7.88	15.00	31.30	14.37	49.39	15.08
Médio	19.19	33.50	11.90	22.67	102.26	46.94	133.35	40.70
Baixo	7.88	13.75	20.91	39.83	51.78	23.77	80.57	24.59
Muito Baixo	1.13	01.98	3.67	06.98	7.60	03.48	12.40	3.78
Total	**57.27**	**100.00**	**52.51**	**100.00**	**217.86**	**100.00**	**327.64**	**100.00**

À medida que se afasta da borda das cuestas em direção ao interior desta unidade, tende-se a encontrar terras com maior estabilidade potencial. Tal fato é justificado pelo uso predominante por pastagens em latossolos e podzólicos de textura argilosa, todavia é raro o indicativo de "baixo" ou "muito baixo" potencial à fragilidade. Aí predominam processos de dissecação da paisagem, explicado pelo conjunto planáltico que se manteve em patamar mais elevado, fato que pode ser notado na irregularidade do relevo que gradativamente vai sendo modelado por uma drenagem efêmera e canais fluviais perenes de primeira e segunda ordem.

O segundo ambiente a apresentar importantes manchas indicativas de "alto" e "muito alto" potencial à fragilidade ambiental, é do geossistema II. Aproximadamente 30% desta área apresenta altas declividades, as quais estão associadas ao uso da terra pelo cultivo da cana-de-açucar. Embora este ambiente apresente solos e estrutura geológica com características indicativas de maior estabilidade, sobre estas estruturas a densidade de drenagem é mais densa quando comparada com outras unidades de paisagem, sendo da ordem de 1.68km/km^2 para todo o geossistema II, 1.54 km/km^2 para o geosistema I e 1,24 km/km^2 para o geossistema III.

No setor que compõe a Depressão Periférica Paulista têm-se o domínio do geossistema III. Caracterizado por relevo de colinas médias e amplas, em sua porção sudeste estão presentes, juntamente com estas formas, solos quartzarênicos e uso do solo pelo cultivo da

cana-de-açucar. É nesta porção do território que sobressaem as manchas indicativas de alto potencial à fragilidade ambiental.

De um modo geral, nas três unidades de paisagem descritas sobressaem-se importantes áreas de fragilidade potencial elevada. Três variáveis ambientais comandam este indicativo, a saber: declividades iguais ou maiores que 30%; tipos de solos caracterizados por neossolos litólicos e quartzarênicos; e uso do solo por culturas temporárias (cana-de-açúcar). Cabe destacar que para a classificação destes ambientes em "alto" ou "muito alto" potencial à fragilidade, faz-se necessário a combinação de pelo menos duas destas variáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O roteiro metodológico definido neste estudo baseou-se em premissas da geografia ambiental, procurando observar aspectos da caracterização e qualidade do meio ambiente do município de Analândia. A aplicação da metodologia mostrou-se apropriada para a delimitação das unidades geoambientais e avaliação da fragilidade ambiental à que estas unidades estão expostas.

O levantamento de dados secundário, a elaboração do mapa de uso e trabalhos de campo foram procedimentos essenciais para a montagem de um banco de dados no contexto dos sistemas de informações geográficas que, permitiram maior agilidade no processo de modelagem e análise espacial. O processo de aquisição e digitalização dos dados consumiu considerável quantidade de tempo ao longo da pesquisa, todavia vale salientar que a preocupação com a precisão dos dados e a manutenção da qualidade de suas estruturas resultou em maior *acurácia* nos resultados, minimizando esforços adicionais. Convém notar que, a confiabilidade dos mesmos só foi possível após uma profunda análise, envolvendo a inspeção dos dados presentes nas fontes primárias, a observação dos dados obtidos em campo e revisão bibliográfica. É possível dizer que os sistemas de informações geográficas foram instrumentos essenciais na execução da pesquisa, sobretudo no que diz respeito a otimização do tempo e objetividade na execução de determinadas operações. Por sua vez, é importante destacar que sem o acompanhamento de um olhar analítico capaz de coordenar a seqüência de operações e avaliar continuamente cada um dos resultados, torna-se praticamente inviável a obtenção de resultados satisfatórios.

Em relação ao material obtido através da pesquisa, pode-se concluir que: foi possível estruturar uma base de dados útil para o inicio de um trabalho mais aprofundado, seguindo em direção ao discernimento dos processos ocorrentes na área e da estabilidade-sensibilidade-vulnerabilidade das unidades geoambientais; os mapas dos geossistemas/geofácies e do uso da terra e cobertura vegetal e do potencial à fragilidade ambiental são um material único da área municipal, servindo como referência para a consulta e análise. Todavia, para a compreensão aprofundada de cada um dos polígonos de geofácie, faz-se necessário levantamentos de solos, declividade e uso em escala de detalhe.

Quanto à elaboração de um plano de gestão para as unidades geoambientais é importante acrescentar um conjunto de medidas de mitigação de impactos relacionados à erosão, degradação das águas e vegetação, tais medidas só poderão ser viabilizadas após a investigação mais detalhada, a partir de um corpo interdisciplinar de pesquisa, fazendo prognoses e propondo diretrizes para o planejamento ambiental. Dada a vocação turística da região, as atividades agrosilvopastoris poderão se coordenadas visando o desenvolvimento do agroturismo, assim a reordenação dos usos correntes pode ser vista como um importante meio para manutenção da qualidade ambiental da área, além de resultar em benefício econômico. Todavia, cabe ressaltar que, para que tais benefícios ocorram, faz-se necessário a adoção de ações envolvendo educação ambiental, manutenção adequada do uso do solo e dos espaços de lazer e a conservação dos remanescentes de cobertura vegetal.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, Diógenes S., *et al.* Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat/TM para a caracterização de áreas desflorestadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** INPE: São José dos campos, 1998.

ANDERSON, James R., *et al.* **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos.** Rio de Janeiro: IBGE-Supren, 1979.

ARONOFF, S. **Geographic Information System:** A management perspective. Ottawa: WDL Publications, 1991.

BARBOSA, Cláudio C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento.** 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, S. J. dos Campos, 1997.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global:** esboço metodológico. Cadernos de ciência da Terra (13). São Paulo: IG-USP,1968.

BONHAM-CARTER, **Geographic Information System for geoscientists**. Ottawa: Pergamon, 1994.

BRINO, Walter Cecílio. **Contribuição à definição climática da bacia do Corumbataí e Adjacências (S. P.), dando ênfase à caracterização dos tipos de tempo.** 1973. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, UNESP, Rio Claro, 1973.

BRITO, M. C. W. **Unidades de conservação: Intenções e resultados.** São Paulo: Fapesp/Annblume, 2000.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information System for land resources assessment.** Oxford: Clarendon Press, 1986.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1996a.

CÂMARA, Gilberto, *et al.* **Anatomia de sistemas de informações geográficas.** São José dos Campos: DPI/INPE, 1996b.

_____, G., *et al.* **Análise espacial.** São José dos Campos: DPI/INPE, 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/análise>. Acesso em: 25 ago. 2003

_____, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher,1999.

_____, A.; QUEIROZ NETO, J. P. Ação do escoamento superficial das águas pluviais na Serra de Santana (E. S. Paulo). **Boletim Paulista de Geografia,** São Paulo v. 45, p. 60-71, Junho de 1968.

_____, A.; QUEIROZ NETO, J. P. Estudos Geomorfológicos a respeito da Serra de Santana, SP. **Boletim Paulista de Geografia,** São Paulo, v. 38, p. 4-19, Julho, 1961.

CREPANI, E., *et al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** INPE: São José dos campos, 1996.

CROSTA, A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

DEMEK, Jaromir. The landscape as a geosystem. **Geoforum.** UK, vol. 9, p. 29-34, 1978.

DIEGUES, Antonio Carlos. **O mito moderno da natureza intocada.** São Paulo: Hucitec, 1996.

EASTMAN, J. R. *Idrisi 3.2:* **Tutorial.** Worcester: Clark labs. Clark University, 1999.

EHLERS, M.; EDVARDS, G.; BEDARD, Y. Integration of remote sensing with geographic information systems: a necessary evolution. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 55, p. 1619-1627. 1989,

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999.

_____. Base de dados. Disponível em: <http://rubi.cnpma.embrapa.br/>. Acesso em: 04 abr. 2005.

FERREIRA, Marcos César. Mapeamento de unidades de paisagem em sistemas de informações geográficas: Alguns pressupostos fundamentais. **Geografia**, Rio Claro, v. 22, n. 1 , p. 23-35, 1997.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de textos, 2002. 97p.

FONSECA, Leila Maria Garcia. **Processamento digital de imagens.** São José dos Campos: PDI/INPE, 2000.

FUNDAÇÃO IBGE. Carta do Brasil, São Carlos. São Paulo: IBGE, 1971. Folha SF-23-Y-A-I-1. 1/50.000

_____. **Base de dados.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em 14 mai. 2005.

_____. Carta do Brasil, Corumbataí. São Paulo: IBGE, 1971. Folha SF-23-Y-A-I-2. 1/50.000.

FUNDAÇÃO SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Base de dados.** Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/>. Acesso em: 04 jun. 2005.

GOODCHILD, M. F. Geographical Information Science. **International Journal of Geographical Information Systems.** v. 6, p. 31-45, 1992.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 2ª Ed.

HAMMES, S. H. **Contribuições para o planejamento agroturístico na Área de Proteção Ambiental de Sousas e Joaquim Egídio (Campinas-SP)**. 1998. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 1998.

HYES, L. W. B.; CRACKNELL, A. P. **Introduction in remote sensing.** New York: Taylor & Francis, 1991.

JENSEN, John R. **Introductory digital image processing.** New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

KOFFLER, Natalio Felipe. Avaliação do uso das terras da bacia do Rio Corumbataí (SP) através de técnicas de Geoprocessamento. **Boletim de geografia teorética,** Rio Claro, v. 24, p. 05-64, 1994.

LONGLEY, P. A. *et al.* **Geographic Information Systems and Science.** NYC: John Wiley and Sons, inc., 2001

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Coord.). **Geographical Information Systems:**

Principles and applications. Harlow, UK: Longman, 1991. Disponível em: <http://www.wiley.com/gis>. Acesso 15 fev. 2005.

MALCZEWSKI, Jacck. **GIS and multicriteria decision analysis.** Toronto: John Wiley and Sons, inc., 1999.

MAS, Jean-François; RAMÍRES, Isabel. Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing. **ITC Journal**, v. 3/4, p. 278-283, 1996.

MASCARO, S. A.; FERREIRA, M. C. Análise comparativa entre algoritmos de classificação digital de imagem com base na exatidão do mapeamento do uso e cobertura da terra: um exemplo na área de influência do reservatório de Jurumirim-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** INPE: São José dos campos, 2003.

MEDEIROS, José Simeão de. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território.** 1999. 221f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Fac. de Fil., Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 1999.

MONTEIRO, Carlos A. Figueiredo. **Geossistemas a história de uma procura.** São Paulo: Ed. Contexto, 2000.

MORAES, A. T. C. C.; TROPPMAIR, H. Área de proteção ambiental da Serra de São Pedro e Analândia: estudo de biotopos. **Boletim de geografia teorética**, Rio Claro, v. 15 (29-30), p. 324-329, 1985.

NANDES, Antonia M. M. Ecoturismo em unidades ambientais – Parque ecológico João Basso. In: SOUZA, Maria José (org.). **Políticas públicas e o lugar do turismo.** UNB: Depto. de Geografia. Brasília, MMA, 2002.

NASCIMENTO, P.S.R.; BATISTA, G.T.; FILHO, R.A. Efeito de pré-processamento (ajuste) no desempenho da segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. **Anais...** INPE: São José dos campos, 1998.

NOVO, Evlyn M. L. M. **Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Memorial Descritivo.** 1984. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos, II. Campinas: Instituto Agronômico, 1984.

OPENSHAW, S. Developing apropriate spatial analysis methods for GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Coord.). **Geographical Information Systems: Principles and applications.** Harlow, UK: Longman, 1991. Disponível em: <http://www.wiley.com/gis>. Acesso 15 fev. 2005

PAGANI, Maria Inêz. **Proposição de gestão ambiental para o município de Analândia - SP, com detalhamento de duas unidades:** Morro do Cuscuzeiro e Parque Municipal. 1995. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Ufscar, São Carlos, 1995.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista.** 1976. 86f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Fac. de Fil. Letras e Ciências Humanas – USP, São Paulo, 1976.

PINTO, C.A.L., *et al.* The Integration Between GIS and Remote Sensing. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O ESTUDO DE RISCOS NATURAIS, 1990, Bogotá, **Anais...** 1990.

ROSS, J. L S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. São Paulo: Ed. Contexto. 1990.

_____, J. L S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 8, p. 17-29. 1994.

_____, J. L S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 9, 1995.

SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: Makron, 1991.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas das unidades de conservação ambiental do Estado de São.** São Paulo, 2000.

SILVA, Ardemírio de Barros. **Sistemas de informação geo-referenciadas:** conceitos e fundamentos. Campinas: Livro texto, 1999.

SILVA, Sergio. **Expansão cafeeira e origens da indústria no Brasil.** São Paulo: Alfa - Omega, 1978.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão**, São Paulo, v. 16, n. 1-52, IG-USP, 1977.

TEIXEIRA, A. L. de Almeida; CRISTOFOLETTI, **A. Sistemas de informações geográficas:** dicionário ilustrado. São Paulo: Hucitec, 1997.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977.

TRICART, J. Paisagem e ecologia. **Inter-Fácies:** escritos e documentos, São José do Rio Preto, IBILCE-UNESP nº 76. 1982. 55p.

VALENTE, Roberta de Oliveira Averna. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio corumbataí, SP**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28(3): p.323-344, 2003.

WEIBEL, R.; HELLER, M. Digital Terrain Modeling. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Coord.). **Geographical Information Systems: Principles and applications.** Harlow, UK: Longman, 1991. Disponível em: <http://www.wiley.com/gis>. Acesso 15 fev. 2005

XAVIER, J.S. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.