

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA HUMANA

**INFERÊNCIAS GEOGRÁFICAS: O PROCESSO ANALÍTICO
HIERÁRQUICO E O MODELO BOOLEANO PONDERATIVO
APLICADOS NO DIAGNÓSTICO DA ESTABILIDADE
AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE ITIRAPINA.**

Marcos Roberto Martines

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia Humana do Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Mestre em Geografia Humana**

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

São Paulo
2005

Dedico esse trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço ao Prof. Reinaldo Paul Pérez Machado pela orientação e sugestões durante o transcorrer desta dissertação.
- À minha mãe por toda dedicação, amor, incentivo e ensinamentos à minha vida.
- À Luciana, pelo amor, amizade e companheirismo em todas as horas.
- Ao amigo Ricardo Vicente Ferreira, pelo incentivo, ensinamentos e apoio durante todas as fases dessa dissertação.
- Aos amigos Berenice Bustamante Kavakama e Selma Cury por todo incentivo e compreensão; à Emilia M. dos Santos Lino e Nelson Bedin pelas correções e sugestões.
- Aos colegas Rúbia e Fernando (LASERE) pela disposição e infraestrutura oferecida.
- E aos meus familiares e amigos que participaram diretamente o indiretamente da realização deste sonho.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fundamental o estudo comparativo da representação cartográfica da estabilidade ambiental no município de Itirapina, São Paulo, utilizando dois diferentes métodos de inferência geográfica: o Booleano Ponderativo e o Processo Analítico Hierárquico. Para isso foram considerados os temas: Geologia, Pedologia, Declividade e Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Os resultados, obtidos mediante a utilização de técnicas de geoprocessamento, permitiram diferenciar os modelos em função dos procedimentos operacionais adotados, mostrando e identificando as áreas em estabilidade e instabilidade ambiental à erosão em função dos fatores acima considerados.

PALAVRAS-CHAVE

Inferência Geográfica, Técnicas de Geoprocessamento, Mapas Síntese.

ABSTRACT

This paper had as main objective the comparative study of the cartographic representation of the ambient stability in the city of Itirapina, in São Paulo state, using two different methods of geographic inference: Boolean Ponderate (Weighted Linear Combination) and Hierarchic Analytical Process. For that purpose the following themes had been considered: Geology, Soils, Slope, and Land Use. The results, gotten by means of the use of geoprocessing techniques, had allowed to differentiate the models in function of the adopted operational procedures, showing and identifying the areas in ambient stability and instability to the erosion regarding the above considered factors.

KEY WORDS

Geographical Inference, Geoprocessing Techniques (Geoinformatics), Synthetic Maps.

SUMÁRIO

ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIII
ÍNDICE DE QUADROS	XIV
1. INTRODUÇÃO	01
2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS EM SENSORIAMENTO REMOTO.....	09
3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS	35
4. OBJETIVOS	52
5. METODOLOGIA.....	53
6. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
7. MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E RESULTADOS	78
8. A APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PESQUISA.....	95
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
10. CONCLUSÕES	128
11. BIBLIOGRAFIA	130
12. ANEXO I.....	136

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
---------------------	----

PARTE I

2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS EM SENSORIAMENTO REMOTO	09
2.1. Introdução e História.....	09
2.2. Sensores Remotos e Satélites.....	10
2.3. O Satélite Landsat	12
2.4. Característica das Imagens de Sensoriamento Remoto.....	15
2.5. Resoluções em Sensoriamento Remoto.....	16
2.6. Processamento de Imagens de satélite	18
2.7. Análise de Imagens de Satélites.....	25
2.8. Interpretação de Imagens de Satélites.....	30
2.9. Análise Digital de Imagens Multitemporais	34
3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS.....	35
3.1. Síntese Histórica da Evolução do Geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográficas.....	35
3.2 Síntese do histórico do Geoprocessamento no Brasil.....	41
3.3. Características gerais dos SIG	43

3.4. Estruturação de um SIG	45
3.5. Entrada de Dados em um SIG.....	46
3.6. Manipulação e Análise de dados em SIG	48
3.7. A integração do Sensoriamento Remoto e dos SIG	49

PARTE II

4. OBJETIVOS	52
5. Metodologia – Fundamentos Teóricos e Metodológicos	53
5.1. Levantamentos Ambientais.....	55
5.1.1. Inventário	55
5.1.2. Planimetria.....	56
5.1.3. Assinatura.....	57
5.1.4. Monitoria Ambiental	57
5.1.4.1. Monitoria Simples	57
5.1.4.2. Monitoria múltipla.....	57
5.2. Prospecções Ambientais	58
5.2.1. Avaliações Ambientais Diretas.....	58
5.2.1.1. Riscos Ambientais	59

5.2.1.2. Potenciais Ambientais	59
5.2.1.3. Necessidades de Proteção	60
5.3. Aplicação da Metodologia na Pesquisa	60
6. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	64
6.1. Breve histórico da formação Município	66
6.2. Aspectos Geomorfológicos e Geológicos	69
6.3. Vegetação.....	73
6.4. Aspectos Pedológicos.....	75
6.4.1. Descrição dos Solos	75
6.5. Aspectos Climáticos.....	77
7. MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E RESULTADOS	78
7.1. Equipamentos.....	78
7.2. Elaboração do Banco de Dados Geográfico e Modelagem.....	79
7.3. Procedimentos – Plano de Informação	81
7.3.1. Plano de Informação Declividades	82
7.3.2. Plano de Informação Pedologia.....	87
7.3.3. Plano de Informação Geologia.....	89

7.3.4. Plano de Informação Uso da Terra e Cobertura Vegetal	91
8. A APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE ITIRAPINA	95
8.1. Inferências Geográficas	97
8.2. Padronização dos Mapas Temáticos e Álgebra de Mapas	98
8.3. O Modelo Booleano	103
8.4. O Modelo Booleano Ponderativo	104
8.5. O Processo Hierárquico Analítico	107
8.6. Padronização da cor da legenda dos Modelos	117
8.7. Discussão e Comparação dos Modelos – Booleano Ponderativo e Processo Hierárquico Analítico	117
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
10. CONCLUSÕES	128
11. BIBLIOGRAFIA	130
12. ANEXO I	136

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 - Bases Analógicas e Digitais utilizadas na Pesquisa.....	61
Tabela 02 - Litologia e Pedologia da Área do Município.....	73
Tabela 03 - Valores consolidados para o tema Geologia	101
Tabela 04 - Valores consolidados para tema Uso da Terra e Cobertura Vegetal.....	101
Tabela 05 - Valores consolidados para o tema Declividade	102
Tabela 06 – Valores consolidados para o tema Solos.....	102
Tabela 07 - Escala de Valores de AHP para Comparação Pareada	111
Tabela 08 - Pesos do AHP por critérios	113
Tabela 09 - Distribuição das Classes de variáveis consideradas em km ² e em porcentagem de área.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 - Os Seis Segmentos da Aplicação do Geoprocessamento.....	03
Figura 02 - Obtenção de Imagens por Sensoriamento Remoto	11
Figura 03 - Funcionamento de um Sensor Remoto	11
Figura 04 - Processo de imageamento dos sensores MSS e TM transportados pelo satélite Landsat.....	13
Figura 05 - Demonstração comparativa de diferentes resoluções espaciais	16
Figura 06 - Sistema de aquisição de informação pelo sensor.....	17
Figura 07 - Comparação entre a Análise Visual e Digital em S. R.	18
Figura 08 - Estrutura dos procedimentos de Análise Digital de Imagens	19
Figura 09 - Processo de Registro de Imagem Digital.....	22
Figura 10 - Manipulação dos níveis de cinza para realce, Imagem landsat banda 5.....	23
Figura 11 - Composição colorida de imagens, imagem Landsat.....	24
Figura 12 - Imagem Segmentada e sobreposta a Imagem original.....	26
Figura 13 - Mapa de Bordas	27
Figura 14 - Exemplificação de um típico processo de classificação de uma Imagem de satélite.....	28

Figura 15 - Variação da diferença entre a tonalidade de cinza dos objetos em uma imagem Landsat.	31
Figura 16 - Diferenciação de diversos objetos coloridos, Imagem colorida Landsat bandas 3,4 e 5.	31
Figura 17 - Diferença de textura em uma imagem de satélite TM composição colorida. Bandas 3, 4 e 5.	32
Figura 18 - Distinção de objetos em uma imagem de satélite em função do seu tamanho.....	32
Figura 19 - Identificação de Alvos em uma Imagem Landsat bandas 3, 4 e 5.....	33
Figura 20 - Exemplo da projeção das sombras em uma imagem de satélite Landsat bandas 3, 4 e 5	33
Figura 21 - O Mapa da área da cidade de Londres, com Óbitos por Cólera identificados por pontos e poços de água e representados por cruces.....	36
Figura 22 - Estrutura Interna do SIG.....	46
Figura 23 - Fluxograma dos Procedimentos Teórico Metodológico	54
Figura 24 - Fluxograma da Aplicação da proposta metodológica de Xavier da Silva, 2001 na pesquisa do Município de Itirapina	60
Figura 25 - Localização Geográfica do Município de Itirapina.....	64
Figura 26 -Localização do Município dentro de Perímetro das APA's	68
Figura 27 - Esboço das Principais núcleos de Cobertura Vegetal.....	74

Figura 28 - Mapa Topográfico do Município de Itirapina (Superfície Contínua)	82
Figura 29 - Configuração de uma Grade Irregular Triangular.....	84
Figura 30 - Grade Irregular Triangular do Município de Itirapina.....	84
Figura 31 - Mapa de Declividade	86
Figura 32 - Mapa Pedológico	88
Figura 33 - Mapa Geológico.....	90
Figura 34 - Mapa de Uso e Cobertura Vegetal.....	94
Figura 35 - Exemplo de Padronização de Mapa Temático (Vetor) para Mapa Numérico (Matriz).....	99
Figura 36 - Diagrama de Venn mostrando os resultados da aplicação de operadores de lógica booleana para dois ou mais conjuntos. A cor cinza é a hipótese verdadeira	104
Figura 37 - Álgebra aplicada no Modelo Booleano Ponderativo.....	105
Figura 38 - Modelo Numérico resultado a aplicação da técnica Booleano Ponderativo	106
Figura 39 - Hierarquização da intensidade de importância dos Temas da pesquisa.....	110
Figura 40 - Matriz de Comparação Pareada	112
Figura 41 - Matriz de Comparação Normalizada e Vetor de Prioridade estimado	113
Figura 42 - Aplicação dos Pesos do AHP para os Temas	115

Figura 43 - Modelo Numérico resultado a aplicação da técnica Processo Hierárquico Analítico	116
Figura 44 - Fatiamento dos Modelos Numéricos em Grupos e Subgrupos..	118
Figura 45 – Mapa Síntese – Modelo Booleano Ponderativo	119
Figura 46 – Mapa Síntese - Modelo Processo Hierárquico Analítico	120
Figura 47 - Áreas Classificadas como estável 3 no Modelo AHP, as matas no front da cuesta basáltica.....	123
Figura 48 - Exemplo de área classifica como moderadamente estável/instável 1 no modelo Booleano Ponderativo (Cultivo da laranja em baixas declividades)	124
Figura 49 - Exemplo do avanço de campos no front da cuevas basálticas, áreas classificadas com instáveis no modelo AHP	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Distribuição das Classes do Plano de Informação Declividades	85
Gráfico 02 - Distribuição das Classes do Plano de Informação Pedologia	87
Gráfico 03 - Distribuição das Classes do Plano de Informação Geologia.....	89
Gráfico 04 - Distribuição da Classificação do Plano de Informação Uso da terra e Cobertura Vegetal.....	92
Gráfico 05 - Comparação da concentração das classes por área, em Km ² , dos dois modelos aplicados.	121

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 01 - Características e Aplicações das Bandas TM.....	14
Quadro 02 - Técnicas de Correção Radiométrica e seus efeitos sobre a Imagem	21
Quadro 03 - Classes de solos da área de estudo	75
Quadro 04 - Estrutura de Modelagem de Dados no Sistema Spring.....	80
Quadro 05 - Descrição dos Modelos de Dados e Categorias.....	81
Quadro 06 - Classes Geológicas	89
Quadro 07 - Categorias classificadas no PI Uso da Terra e Cobertura Vegetal	91
Quadro 08 - Padronização dos Mapas para o Modelo Numérico.....	99

1. INTRODUÇÃO

As interferências e transgressões da sustentação do equilíbrio da natureza são rompidas em todos os lugares do mundo, fruto dos modelos de desenvolvimento das sociedades modernas. Na atualidade, fica claro que é necessário criar mecanismos que respeitem esse equilíbrio objetivando a melhoria da qualidade de vida das futuras gerações.

Neste sentido, surge um desafio internacional na busca de adoção de processos de desenvolvimento de sociedades que possibilitem o respeito aos limites da natureza e que também possibilite à natureza que absorva os impactos e tenha possibilidades de auto-regeneração. O chamado “Desenvolvimento Sustentado” busca um mecanismo de regulação e suavização da relação sociedade/natureza, tentando traçar linhas de conduta que possibilitem a melhoria da qualidade de vida das populações e a preservação da natureza.

Neste painel, o desenvolvimento de mecanismos de avaliação da ação humana sobre a natureza como o Zoneamento Ambiental é fundamental para a racionalização de ocupação dos territórios, do planejamento e da gestão na busca da harmonização dessas relações.

Assim, desenvolvem-se inúmeras pesquisas na busca de uma maior eficiência na avaliação dos processos envolvidos na produção de um Zoneamento Ecológico que apresente resultados satisfatórios para a sociedade e a natureza; como aparato dessas pesquisas podemos incluir os Sistemas de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto.

Essas ferramentas são fundamentadas em processos computacionais que possibilitam análises complexas e interação de um grande número de informações em diversos formatos, gerando bancos de dados geográficos

georeferenciados, que vêm auxiliando a elaboração dessas análises ambientais.

O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento foram tecnologias que surgiram e se aperfeiçoaram principalmente no pós II guerra mundial. Eles permitiram a realização do mapeamento digital do planeta Terra, que antes era descrita através de cartas e mapas analógicos desenvolvidos por cartógrafos e geógrafos ao longo do tempo.

No mapeamento digital da terra, as imagens de satélite foram fundamentais. Elas são obtidas através da energia, um elemento físico, mas, mesmo assim, possibilitam a obtenção de diversas informações e distribuições espaciais de diversos elementos na superfície da terra. É possível através de uma seqüência temporal de imagens de satélite de um mesmo local caracterizar e identificar vários processos como a devastação de uma floresta; o monitoramento da qualidade da água de um rio, a evolução de um determinado tipo de cultura agrícola; os processos de ocupação de áreas de mananciais em uma grande cidade; entre outras inúmeras aplicações.

Sem dúvida, essas imagens fornecidas pelos satélites que orbitam a terra vêm-se tornando no cenário mundial um importante instrumento técnico na análise de processos com desenvolvimento na superfície terrestre. Elas estão sendo utilizadas em grande escala para mapeamento e análises temporais. O processo de disseminação dessa tecnologia só se fez possível pela aquisição, nos satélites, de imagem com cada vez mais periodicidade e com resoluções de detalhamento cada vez maiores. Entretanto, a interpretação dessas imagens requer cada vez mais um efetivo conhecimento do objeto da análise para a obtenção de resultados efetivos.

O arcabouço de tecnologias do geoprocessamento, entre outras, inclui também as técnicas e conhecimentos desenvolvidos no sensoriamento remoto. Nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível a integração desses

conhecimentos com as funcionalidades do SIG's, como o armazenamento e manipulação de dados georeferenciados.

Segundo Câmara (2001), em uma visão bastante geral, podemos dividir o Geoprocessamento em seis segmentos (**Figura1**).

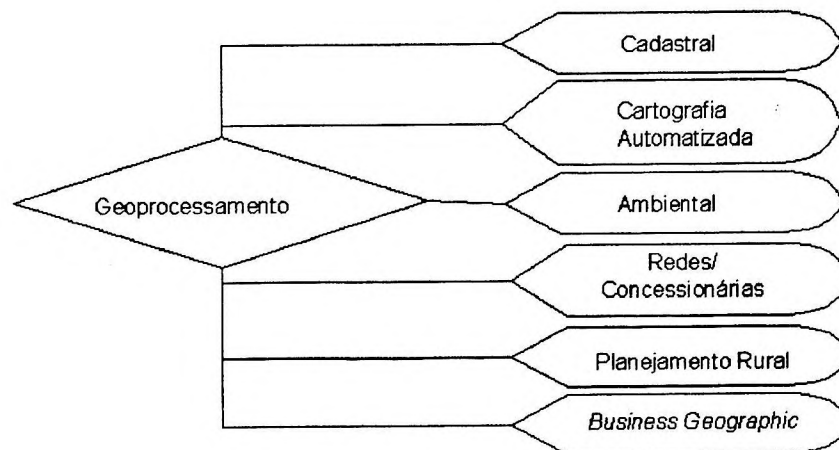


Figura 1 - Os Seis Segmentos da Aplicação do Geoprocessamento

Eis uma caracterização sucinta deles:

- 1) **Cadastral**: aplicações de cadastro urbano e rural, realizadas tipicamente por Prefeituras, em escalas que usualmente variam de 1:1.000 a 1:20.000. A capacidade básica de um Sistema de Informação Geográfica para atender este setor deve dispor de funções de consulta a bancos de dados espaciais e apresentação de mapas e imagens.
- 2) **Cartografia Automatizada**: realizada por instituições produtoras de mapeamento básico e temático. Neste caso, é essencial dispor de ferramentas de aerofotogrametria digital e técnicas sofisticadas de entrada de dados (como digitalizadores ópticos) e de produção de mapas (como gravadores de filme de alta resolução).

- 3) **Ambiental:** instituições ligadas às áreas de Agricultura, Meio-Ambiente, Ecologia e Planejamento Regional, que lidam com escalas típicas de 1:10.000 a 1:500.000. As capacidades básicas do Sistema de Informação Geográfica para atender a esse segmento são: integração de dados, gerenciamento e conversão entre projeções cartográficas, modelagem numérica de terreno, processamento de imagens e geração de cartas.

- 4) **Concessionárias/Redes:** neste segmento, temos as concessionárias de serviços (Água, Energia Elétrica, Telefonia). As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 e 1:5.000. Cada aplicação de rede tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. Os SIG's para redes devem apresentar duas características básicas: a forte ligação com bancos de dados relacionais e a capacidade de adaptação e personalização. O pacote básico disponível com os SIG's deste segmento é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. Assim, os usuários deste setor realizam significativos desenvolvimentos nas linguagens de aplicação do SIG escolhido.

- 5) **Planejamento Rural:** aqui as empresas agropecuárias que necessitam planejar a produção e distribuição de seus produtos. As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 e 1:50.000. Cada aplicação tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. Os SIG's devem apresentar duas características básicas: a forte ligação com bancos de dados relacionais e a capacidade de adaptação. O pacote básico disponível com os SIG's deste segmento é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. Assim, os usuários deste setor realizam significativos desenvolvimentos nas linguagens de aplicação do SIG escolhido.

6) **Business Geographic:** nesta aplicação envolve as empresas que necessitam distribuir equipes de vendas e promoção ou localizar novos nichos de mercado. As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 a 1:10.000. Cada aplicação tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. As ferramentas de SIG devem prover meios de apresentação dos bancos de dados espaciais imediato e que trabalhe com mecanismos de bancos de dados de grande capacidade e ainda disponibilize metodologias de trabalho adequadas e mecanismos de divulgação dos resultados obtidos no planejamento dos negócios. Em especial, os SIG's devem ser adaptados ao cliente, com ferramentas de particionamento e segmentação do espaço para a localização de novos negócios e alocação de equipes.

Pode-se constatar que os Sistemas de Informação Geográfica estão sendo amplamente aplicados no gerenciamento ambiental e urbano, ampliando a compreensão dos conhecimentos e relações do meio físico, biológico e antrópico.

Portanto, uma visão atual sobre a gestão ambiental de um território deve incluir o meio físico, a ocupação humana e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentado, amplamente explorado na Rio 92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo.

Essas prerrogativas são efetivadas pela obrigatoriedade do desenvolvimento de Relatórios de Impacto Ambiental para novos projetos de ocupação do ambiente tais como: hidroelétricas, rodovias, mineração etc.

Segundo Câmara et al, (1997), o grande fluxo de aplicação de tecnologias ligadas ao sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica está ligado ao desenvolvimento de Mapas Temáticos, Diagnósticos

Ambientais, Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento Territorial e os Prognósticos Ambientais.

Os estudos de Mapeamento Temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, estabelecendo bases georeferenciadas dos componentes do ambiente.

O Diagnóstico Ambiental desenvolve estudos específicos para uma área de interesse, criando e estabelecendo uma leitura da ocupação e preservação do espaço. Neste âmbito, é possível desenvolver os relatórios de impacto ambiental e/ou estabelecer áreas de proteção ambiental.

Os trabalhos de Avaliação Ambiental destinam-se ao monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente. Um exemplo disso é o realizado pela organização SOS Mata Atlântica, que vem realizando estudos sobre os remanescentes da Mata Atlântica em toda a costa leste brasileira.

Os estudos do Ordenamento Territorial dão conta de normatizar a ocupação do espaço, visando à racionalização da gestão do território, em busca de um processo de desenvolvimento. Segundo Câmara et al (1997), no Brasil são inúmeros os projetos desenvolvidos neste sentido: Zoneamento Ecológico da Amazônia Legal e o Zoneamento Pedo-Climático por cultura, coordenado pela EMBRAPA.

Neste cenário, surge meu interesse em desenvolver uma pesquisa que envolvesse as tecnologias do geoprocessamento e do sensoriamento remoto, por entender que essas tecnologias estão na ponta do interesse da sociedade e da comunidade científica. Entendo que existem dificuldades de se trabalhar com essas tecnologias principalmente pela necessidade de treinamento na manipulação dos “softwares”, bem como pela falta de dados na forma digital, sendo isso um enfrentamento para aqueles que pretendem desenvolver pesquisas científicas utilizando essas tecnologias.

Nesta pesquisa, assume-se que essas tecnologias são amplamente aplicáveis para o entendimento da dinâmica ambiental, como citado acima, e propõe-se a aplicação dessas tecnologias na configuração de um panorama ambiental para uma região, seguindo uma metodologia de pesquisa, a qual será descrita posteriormente.

Esta pesquisa tomará como estudo de caso o Município de Itirapina no Estado de São Paulo, pois essa área apresenta características ambientais muito peculiares - está inserida em uma Área de Proteção Ambiental (APA) onde ocorre o contado da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Cristalino Atlântico e apresenta a formação das cuestas basálticas (unidades morfológicas características do Estado de São Paulo, Penteadó, 1968).

P A R T E I

Nesta primeira parte desse trabalho a intenção é rever breves conceitos de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica que serão os subsídios para o desenvolvimento desse trabalho.

2. Considerações teóricas em Sensoriamento Remoto

Os conceitos apresentados neste item terão o Sensoriamento Remoto sob o ponto de vista de uma tecnologia para obtenção de dados para o Sistema de Informação Geográfica.

2.1. Introdução e História

Podemos considerar o Sensoriamento Remoto como o conjunto de técnicas empregadas para obtenção de informações da superfície terrestre utilizando registros de energia eletromagnética. São exemplos do emprego desse tipo de técnica os recobrimentos aerofotogramétricos e os imageamentos da superfície terrestre por satélites de observação dos recursos naturais. (GARCIA, 1992).

Para Florezano, (2002), o Sensoriamento Remoto (SR) é a tecnologia que permite obter imagens e outros dados da superfície terrestre, através da captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento se refere à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distância, ou seja, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Portanto, o Sensoriamento Remoto pode ser definido, genericamente, como sendo o conjunto de procedimentos para se obter dados de um determinado objeto sem contato físico com o mesmo.

A origem do sensoriamento remoto pode ser remetida a um dos maiores cientistas do iluminismo, Isaac Newton, e suas experiências de física. Ele experimentou incidir um raio luminoso (luz branca) através de um prisma, e

constatou que a luz podia se desdobrar em um feixe colorido, descobrindo o espectro de cores.

A partir daí os cientistas foram ampliando os seus estudos a respeito dessa energia, descobrindo todas as propriedades da luz, como, por exemplo, que cada cor decomposta no espectro correspondia a uma temperatura diferente. Os cientistas também descobriram que a onda de luz era uma onda eletromagnética, mostrando que a luz visível é apenas uma das muitas diferentes tipos de ondas eletromagnéticas.

Podemos concluir que o Sensoriamento Remoto é o resultado de um esforço multidisciplinar envolvendo os conhecimentos da física, da físico-química, da química, das biociências e geociências, da computação, da mecânica etc.

No contexto da evolução e obtenção de imagens através de sensores remotos, podemos dividir o tempo em duas etapas. Antes da década de 60, em que ocorria o predomínio da obtenção de imagens através de tecnologias baseadas em sensores aerotransportados (Fotos Aéreas), e nas décadas seguintes, até os dias atuais, em que o predomínio da utilização fica por conta das tecnologias ligadas a sensores a bordo de satélites, produzindo uma ampla variedade de tipos de fotografias.

2.2. Sensores Remotos e Satélites

Os Sensores Remotos são equipamentos que registram a energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre, a partir de uma plataforma que varia de acordo com o tipo de sensor. Ele pode se instalado tanto em um satélite em órbita terrestre, buscando informação sobre uma determinada região, quanto em um helicóptero, buscando imagens de um setor urbano de uma cidade; a **figura 2** ilustra o processo de obtenção de uma imagem por um sensor.

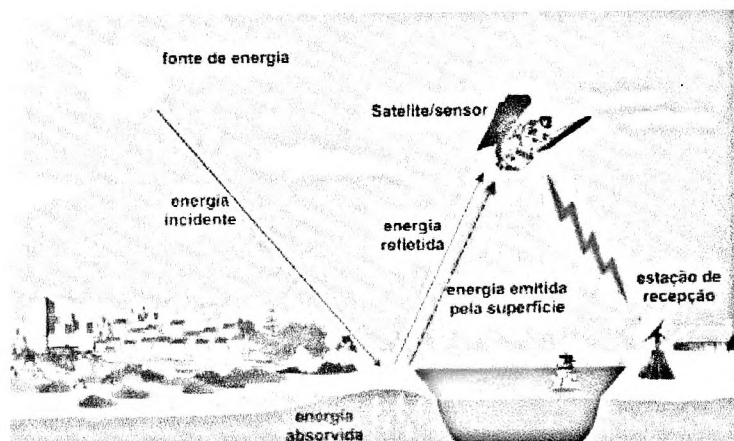


Figura 2 - Obtenção de Imagens por Sensoriamento Remoto

Fonte: Adaptado de Florezano, 2002.

Na superfície da Terra, como ilustra a figura acima, todos os materiais e fenômenos naturais podem absorver, transmitir, refletir e emitir parte da radiação eletromagnética, que sensibilizam o sensor.

Todos os sistemas de sensores remotos apresentam basicamente os seguintes componentes necessários para captar a radiação eletromagnética, exemplificados na **figura 3**.

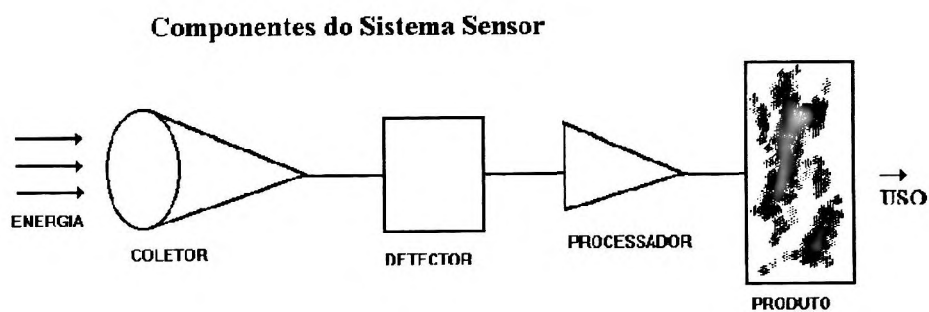


Figura 3 - Funcionamento de um Sensor Remoto

- Coletor - recebe a energia através de uma lente, espelho, antenas etc;
- Detector - capta a energia coletada de uma determinada faixa do espectro;
- Processador - o sinal registrado é submetido a um processamento (revelador, amplificação etc) através do qual se obtém o produto;
- Produto - contém a informação necessária ao usuário.

Já foi publicada uma série de trabalhos caracterizando os principais tipos de sensores e satélites e suas aplicações. Iremos destacar o satélite que é o responsável pela imagem que será utilizada nesta pesquisa, o Landsat.

2.3. O Satélite Landsat

O Landsat é um programa de pesquisa da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), que inclui uma família de satélites diferentes, do Landsat 1 (ERTS) ao Landsat 5, mais o satélite Landsat -6, que não obteve sucesso ao tentar atingir a sua órbita, e o último, o Landsat 7.

A órbita dos satélites Landsat é próxima dos pólos e sincronizada com o Sol. Os Landsat 1 a 3 tinham como principal sensor o MSS (*Multi-Spectral Scanner*) operando em quatro bandas (canais); o Landsat 1 foi lançado em 1972, com uma resolução espacial de 80 metros. Os Landsat 4 e 5 foram postos em órbitas mais baixas do que a dos anteriores e com uma configuração diferente, a fim de permitir imagens de melhor resolução (30 metros).

Equipados com o sensor TM (*Thematic Mapper*) em sete canais, ou as chamadas bandas espectrais (três bandas no visível, uma no infravermelho próximo, e duas no infravermelho médio), o Landsat 4 foi lançado em 1982 e o Landsat 5, em 1984.

O Landsat 6 não atingiu sua órbita e foi perdido em 1993, em 1999 o sensor TM é substituído pelo ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) que carrega a configuração básica do TM e mais um aperfeiçoamento do ETM, que já tinha sido elaborado para o Landsat 6. O ETM+ tem um canal pancromático, com uma resolução espacial de 15 metros.

A área imageada pelo Landsat, seja MSS ou TM é uma faixa de 185 quilômetros (Km) recortada em cenas de 185 km por 170 km. A Figura 4 ilustra o processo de imageamento do satélite Landsat.

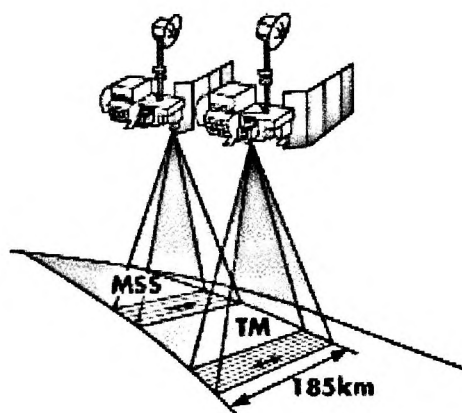


Figura 4 - Processo de imageamento dos sensores MSS e TM transportados pelo satélite Landsat.

Fonte: <http://www.engesat.com.br>

Podemos caracterizar a aplicação das bandas coletadas pelo sensor TM, isto é, descrever as principais utilizações de cada uma das bandas espectrais visando a caracterização dos dados (objetos) imageados, assim descrevendo a melhor utilização para cada uma delas. (**Quadro 1**).

Quadro 1 - Características e Aplicações das Bandas TM

Banda	Intervalo Espectral	Principais Características e Aplicações
1	(0,45–0,52) um Azul	Apresenta grande penetração em corpos d'água com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares. Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2*	(0,52–0,60) um Verde	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água
3	(0,63–0,69) um vermelho	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação. Apresenta bom contraste em diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata de galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4*	(0,76–0,90) um Infra-vermelho próximo	Os corpos d'água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento de rede de drenagem e delineamentos de corpos d'água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia aparecendo bem clara. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa da floresta. Apresenta sensibilidade à morfologia, permitindo obtenção de informações geomorfológicas, solos e geologia. Serve para a análise de mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucaliptos, também para áreas com queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrofila aquática. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55-175) um Infra-vermelho médio	Apresenta sensibilidade ao teor de unidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causa do por desequilíbrio hídrico. Essa banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4-12,2) um Infra-vermelho distante (Termal)	Apresenta sensibilidade a fenômenos relativo aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais das rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08-2,35) um Infra-vermelho Médio	Apresenta sensibilidade as morfologia de terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favoráveis à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: modificado de Martini, 1990.

2.4. Característica das Imagens de Sensoriamento Remoto

As imagens digitais fruto dos sensores remotos (satélites) são formadas por um "grid" composto por elementos denominados "pixel" (*pictere element*), que é localizado por coordenadas "x" e "y" e representa uma área da terra ou do terreno imageado pelo sensor. Essa representação se dá através de um número "DN" (*Digital Number*) que corresponde à média ponderada da energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície da Terra contidos em cada pixel que compõe a cena.

Segundo Crósta, (1992), uma imagem digital pode ser vista como uma matriz, (linhas e colunas), onde cada elemento possuindo um atributo "z" (nível de cinza).

Um dos conceitos importantes ligado às imagens de satélite é o da resolução. Abaixo seguem alguns dos tipos de resoluções mais importantes. (DAVIS & SIMONET, 1993):

1. *Resolução espectral* – é dada pelo número de bandas do espectro eletromagnético capturadas pelos sensores;
2. *Resolução radiométrica* – é dada pela capacidade do sensor de diferenciar níveis de energia do alvo (quantização);
3. *Resolução espacial* – é dada pela área espectralmente confiável da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor;
4. *Resolução temporal* – é dada pelo intervalo de tempo entre duas tomadas de imagem;
5. *Campo instantâneo de visão ou IFOV (instantaneous field of view)* - correspondendo ao ângulo sólido relativo à visada de um elemento de imagem;

2.5. Resoluções em Sensoriamento Remoto

A resolução espacial pode ser definida como o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor. O ETM+ tem a resolução de 30 metros, assim, pode “enxergar” objetos maiores ou até de 30 metros, já um dos sensores mais modernos como o do Satélite IKONOS, tem uma resolução espacial de 1 metro. (FLORENZANO, 2002).

A comparação entre as imagens em diferentes resoluções espaciais está exemplificada na **figura 5**.

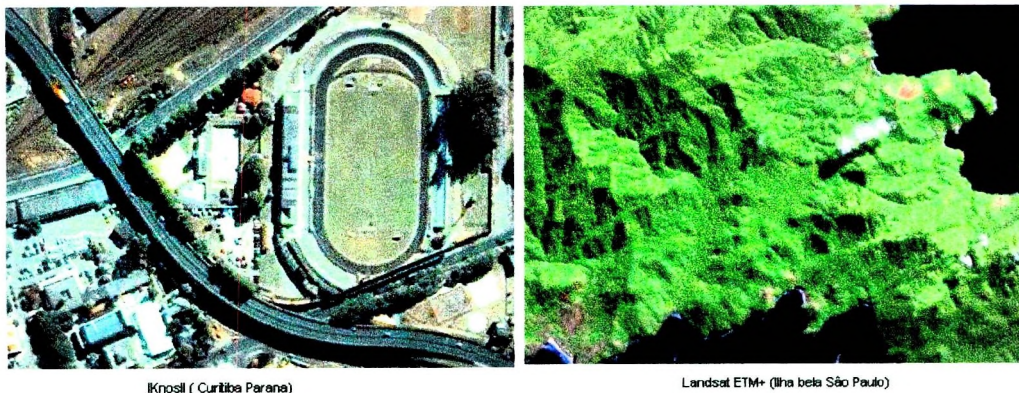


Figura 5 - Demonstração comparativa de diferentes resoluções espaciais

Fonte: <http://www.engesat.com.br>

A projeção geométrica de um sensor define a área no solo, geralmente representado por um elemento na imagem digital. Isto é, a média da radiância dentro desta área fornece o valor do nível de cinza do elemento na imagem digital. O ângulo definido por essa projeção é conhecido por IFOV (*Instantaneous Field of View*).

Portanto, esta área no solo define a resolução espacial nominal do sistema. Quanto melhor a resolução espacial, maior o nível de detalhes perceptível na imagem.

A **figura 6** demonstra o processo de aquisição da radiância de uma área capturada por um sensor.

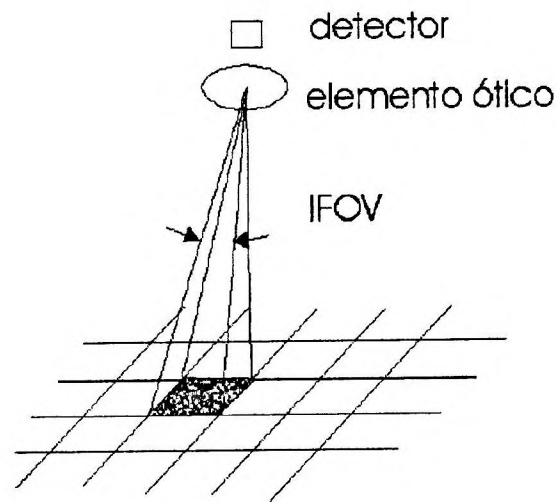


Figura 6 - Sistema de aquisição de informação pelo sensor

A resolução espacial de imagens adquiridas por satélites é geralmente expressa em metros. Por exemplo, a imagem multiespectral SPOT tem uma resolução espacial de 20 metros (m), que é melhor do que a resolução espacial nominal do sensor TM, que é 30 m.

Assim, em uma imagem TM, dois objetos de 30 m, um ao lado do outro, podem ser vistos com um bom nível de detalhes, mas deve-se atentar para o fato de que a resolução não estabelece o tamanho do menor objeto que pode ser detectado na imagem.

Por exemplo, objetos menores do que 30 m aparecem nas imagens TM, embora não possam ser observados com boa definição. Portanto, é possível ver um objeto muito menor que o definido pela resolução espacial da imagem.

2.6. Processamento de Imagens de satélite

O processamento de imagens de sensoriamento remoto se faz necessário devido à quantidade muito maior de informações do que o olho humano consegue perceber, sendo que a função estrutural do processamento de imagens é traduzir essa informação para o intérprete, extraindo dela apenas a parte essencial aos fins determinados. (CRÓSTA, 1992)

As técnicas de processamento digital de imagens, além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados, os quais devem estar devidamente registrados.

Historicamente, podemos dividir o processo de análise de imagens de sensoriamento remoto em dois conjuntos: Análise Digital de imagens e Análise Visual de imagens (**Figura 7**), sendo o método visual precedente ao digital.

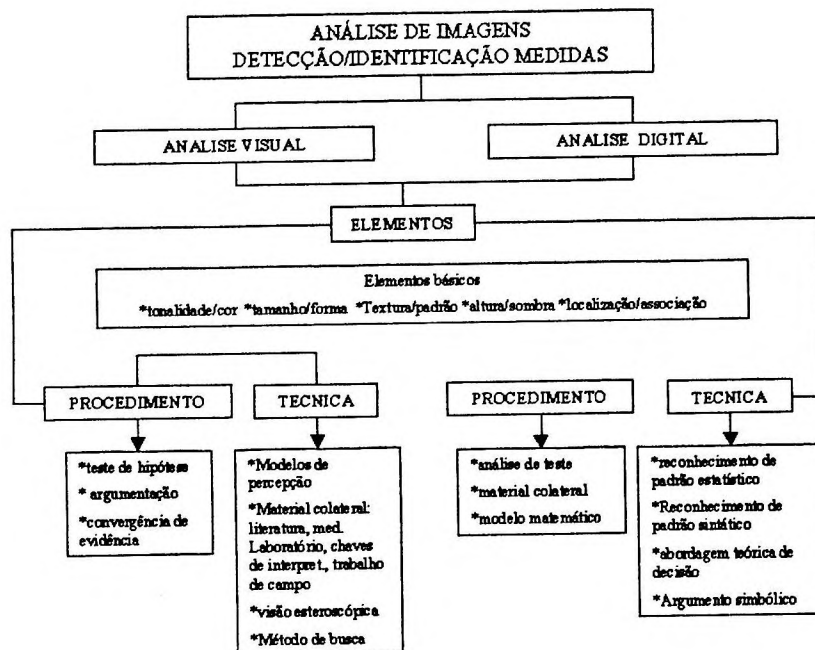


Figura 7 - Comparação entre a Análise Visual e Digital em S. R.

Fonte: Adaptado de Novo, 1989

A utilização das técnicas de análise digital serão etapas a serem realizadas nesta pesquisa (ainda em fase de elaboração). Aqui comentaremos sucintamente alguns fundamentos teóricos da Análise Digital, pois a intenção é apresentar apenas os conceitos comuns nos estudos que envolvem essa temática voltada para os estudos ambientais.

Os conceitos e dados apresentados a seguir fazem parte de uma coletânea retirada dos autores Novo, (1989), Crósta, (1992), Amaral, (1991).

Entra as técnicas contidas na Análise Digital estão os processamentos digitais de imagens. Podemos agrupá-los em três grupos, **Figura 8**.

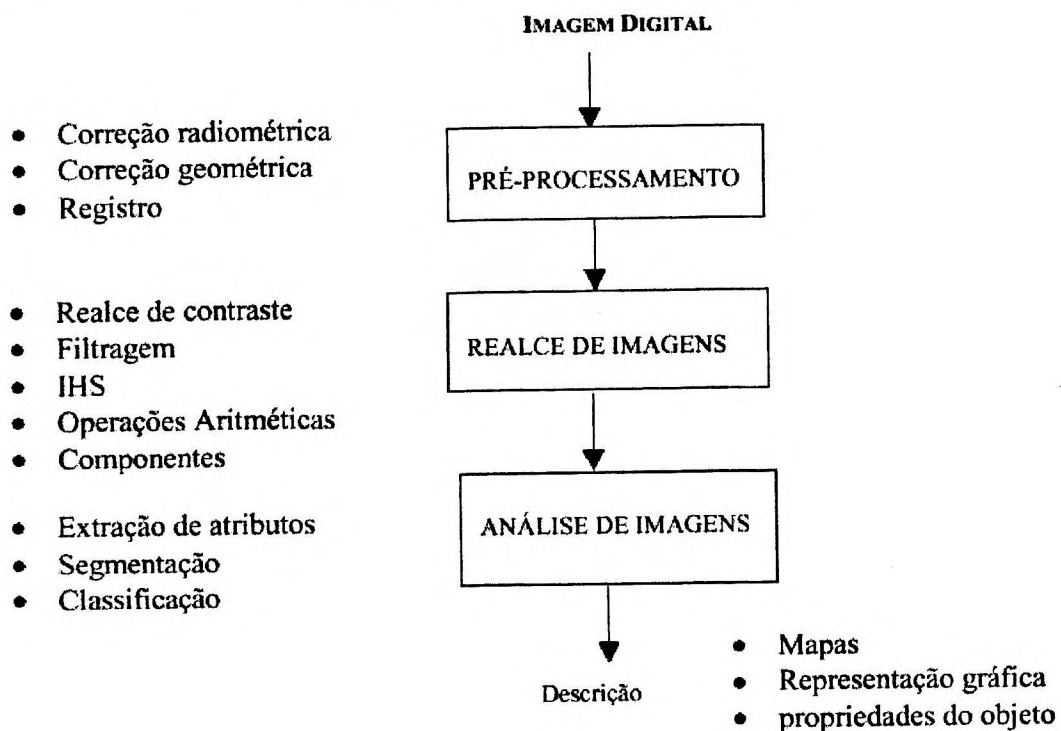


Figura 8 - Estrutura dos procedimentos de Análise Digital de Imagens

Abaixo iremos destacar alguns dos procedimentos citados que elucidaremos de forma sucinta.

1º. Pré-processamento - A fase do pré-processamento de imagem inclui as etapas de transformações radiométricas e geométricas e restaurações de degradações de imagens brutas.

No processo de aquisição de imagem por um sensor ocorrem várias formas de degradação ou ruídos radiométricos. Os ruídos podem ser classificados como do tipo coerente e aleatório. Ruídos coerentes são aqueles que mostram um padrão sistemático, e aleatórios são aqueles que não têm nenhum padrão.

A função da Correção Radiométrica é a de minimizar diferenças entre os níveis de cinza registrados por uma matriz de detectores. Tais diferenças decorrem de problemas de calibração dos detectores ou em função de não linearidade da resposta dos detectores a radiância da cena. É comum a aplicação de processos de restauração e reamostragem espacial na combinação de filtros como o passa-baixa e passa-alto para auxiliar a geração de imagens restauradas.

É importante ressaltar que qualquer que seja a técnica de correção radiométrica esta sempre acarretará em alterações nos dados originais. A aplicação descuidada dessas técnicas pode levar a degradação do sinal original, por isso o usuário deve conhecer a natureza dos seus dados para escolher o melhor procedimento para o objetivo a ser alcançado.

O **Quadro 2** apresenta as técnicas para correção radiométrica e seus efeitos sobre a imagem.

Quadro 2 - Técnicas de Correção Radiométrica e seus efeitos sobre a Imagem

Método	Efeito Positivo	Efeito Negativo
Filtros Passa Baixa	Remoção de faixas da imagem associadas a componentes de alta frequência espacial.	Degradação da resolução espacial; redução do contraste; redução de informações sobre o relevo.
Filtro Vertical	Remoção de faixas horizontais das imagens.	Realça feições verticais e suprime feições horizontais
Ajuste do Histograma	Correção da média e da variância do nível de cinza de cada linha de varredura em relação à média e à média variância de uma linha de varredura aleatória.	Altera consideravelmente as relações entre níveis de cinza e radiância.

Fonte: Adaptado de Novo (1989)

O processo de Correção Geométrica é a reorganização dos pixels de uma imagem em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica. Esta correção pode ser obtida através de técnicas de reamostragem dos pixels da imagem. A reamostragem consiste na formatação de uma imagem a uma base cartográfica, para isso deve ser estabelecida uma relação entre coordenadas da imagem (linha e coluna) e coordenadas geográficas (latitude e longitude).

No processo de correção geométrica é comum a utilização de transformações polinomiais do 1º. e 2º. Graus (**figura 9**). Elas elaboram um vínculo entre as coordenadas de imagem e as coordenadas do sistema de referência (geográficas ou de projeção) através de pontos de controle. Os Pontos de controle são feições passíveis de identificação na imagem e no terreno, como, por exemplo, cruzamentos de estradas, pistas de aeroportos e confluência de rios, onde estes são associados às coordenadas do sistema geográfico.

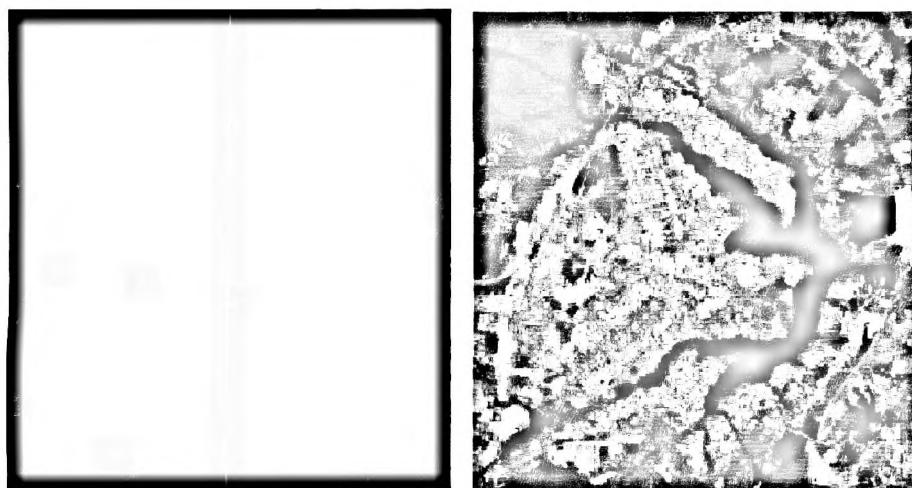


Figura 10 - Manipulação dos níveis de cinza para realce, Imagem landsat banda 5

Fonte: Adaptado de Fonseca, 2000

2.2 Filtragem – Se uma banda de uma imagem digital fosse transformada em um gráfico tridimensional, onde cada pixel corresponde-se a uma cota igual ao nível de cinza naquele ponto, poderíamos identificar regiões do gráfico relativamente planas e outras com grandes variações. As regiões planas correspondem a áreas do terreno que possuem resposta espectral homogênea, como por exemplo, um corpo d'água, as grandes variações de freqüência estariam associadas com grandes diferenças tonais, como por exemplo, a imagem de uma cidade. Em sensoriamento remoto as áreas do primeiro exemplo seriam consideradas de baixa freqüência, enquanto que o segundo exemplo de alta freqüência.

A filtragem de uma imagem é aplicada para realçar e suavizar essas variações de freqüência na imagem, tendo como resultado imagens de bordas, lineamentos ou texturas suavizadas ou realçadas.

2.3. Composição colorida - A manipulação de cores pode ser usada apenas para visualizar imagens multi-espectrais ou também pode ser manipulada, através de técnicas de processamentos, para identificar e extrair objetos em uma imagem.

A atribuição de cores para as bandas espectrais é arbitrária. Isso acontece especialmente se as faixas espectrais das bandas não correspondem às respostas espectrais das emulsões fotográficas. Por exemplo, as bandas 5, 4 e 3 do TM associadas aos canais R, G e B, (Red, Green, Blue), respectivamente, geram uma imagem colorida, cujas cores não correspondem às cores verdadeiras vistas em uma foto colorida. Dizemos então que esta é uma composição colorida falsa-cor.

Esta é a mais tradicional forma de se combinar três bandas espectrais de satélite para a formação de uma composição colorida. Na verdade, pode-se usar quaisquer três bandas para se produzir uma composição colorida. Veja a **figura 11** ilustrando essa situação.

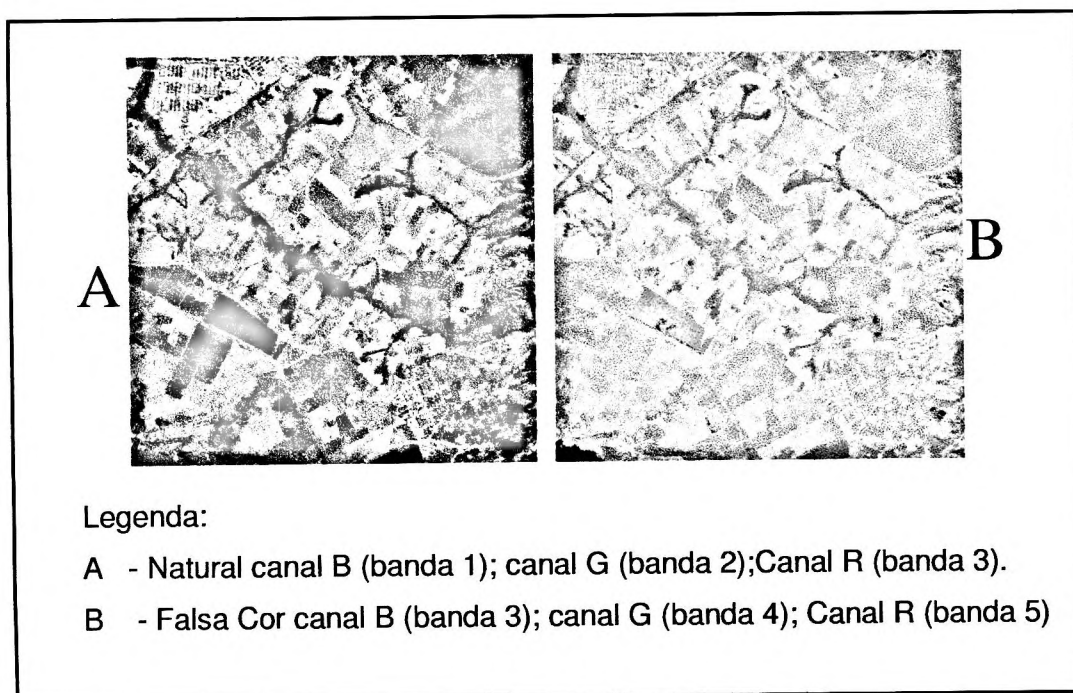


Figura 11 - Composição colorida de imagens, imagem Landsat.

Fonte: Adaptado de Fonseca, 2000.

2.4. IHL - O equipamento de elaboração de visualização de imagens multi-espectrais é feito através das componentes R, G e B, como já foi dito, no SVH a cor é interpretada como a combinação de três componentes conhecidas

por saturação (Saturation-S), intensidade (Intensity-I) e Matiz (Hue-H). O espaço de atributos de cores representado por estas três componentes é conhecido por IHS.

Esses atributos podem ser analisados e manipulados individualmente, ao contrário do sistema RGB, onde eles são intrinsecamente interligados e apresentam uma melhor correspondência no aspecto psicológico da cor. O sistema IHS descreve a formação de cores de uma maneira muito mais próxima daquela pela qual o sistema visual humano percebe as cores. Devido a isso, este sistema apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB. A Matiz de um objeto está relacionada com a medida do comprimento de onda médio da luz que ele reflete ou emite.

2.5 Operações Aritméticas - são possíveis várias operações matemáticas simples para analisar imagens multi-espectrais e/ou multi-temporais. Neste processo de análise são usados duas ou mais imagens de uma mesma área geográfica, sempre previamente co-registradas, isto é, cada pixel das duas imagens se refere exatamente à mesma área no terreno. A operação é realizada pixel a pixel, através de uma regra matemática definida pelo usuário, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais.

Entre as operações matemáticas simples, a operação de adição é utilizada para realçar as similaridades entre duas bandas, enquanto que a subtração, a multiplicação e a divisão são utilizadas mais para realçar diferenças espectrais.

2.7. Análise de Imagens de Satélites

A Análise de Imagens satelitais está relacionada com a extração de informação desse produto. Esse processo abrange a segmentação, que é a partição da imagem em regiões com características diferentes, e a

classificação de imagens, que envolve a segmentação específica, usando técnicas de reconhecimento de padrões.

- *Segmentação* - é o processo de particionamento da imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse do estudo, os atributos das regiões tais como área, forma, parâmetros estatísticos e textura podem ser extraídos e usados posteriormente no processo de análise. O particionamento da imagem pode ser realizado, basicamente, de três formas: por crescimento de regiões; detecção de bordas e a combinação das outras duas.
- *Crescimento de Regiões* - O processo de crescimento de regiões divide a imagem em um número de regiões homogêneas, em que cada uma é identificada por um rótulo. O resultado final é uma imagem rotulada. A técnica é um processo iterativo em que as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas segundo algum critério de similaridade.

Podemos demonstrar a aplicação dessa técnica na **figura 12**, em que se visualizam os contornos das regiões, obtidos através do algoritmo de crescimento de regiões implementado no SPRING, sobrepostos à imagem original.

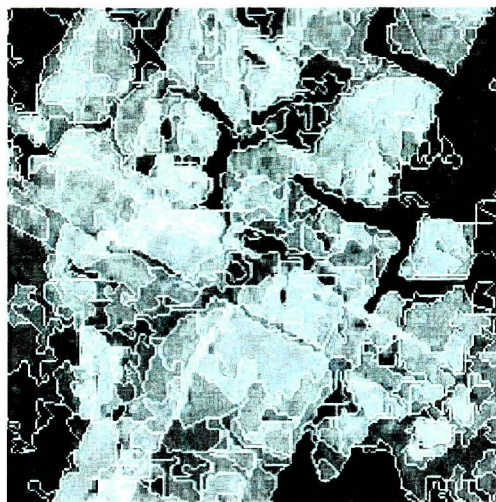


Figura 12 - Imagem Segmentada e sobreposta a Imagem original

c. *Detecção de bordas* - as bordas entre regiões homogêneas são extraídas gerando-se como resultado um mapa de bordas. As bordas na imagem caracterizam os contornos dos objetos e são bastante úteis para segmentação e identificação de objetos na imagem.

Pontos de borda podem ser entendidos como as posições dos pixels com variações abruptas de níveis de cinza. Os pontos de borda caracterizam as transições entre objetos diferentes. (**figura 13**)

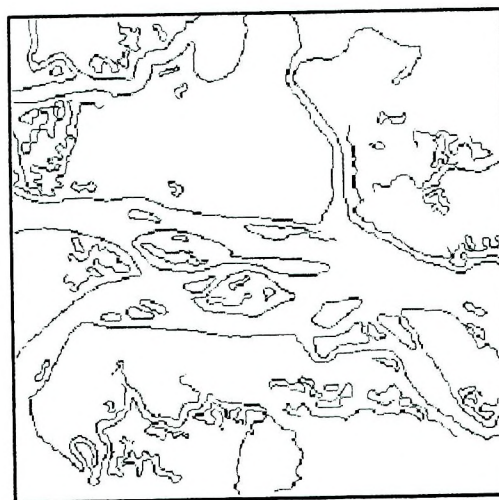


Figura 13 - Mapa de Bordas

d. *classificação* - em linhas gerais, a classificação consiste no processo de extração de informação sob uma imagem com o intuito de reconhecer padrões e objetos que sejam homogêneos no propósito de mapear as áreas identificadas.

O resultado final de uma classificação é uma imagem temática (um mapa temático), onde os pixels classificados são representados por símbolos gráficos ou cores.

Cada cor ou símbolo será associado a uma classe criada pelo pesquisador. Como por exemplo, temos as classes área urbana, tipos de vegetação, tipos de solo etc.que são classes comuns em classificações de imagem. A **Figura 14** demonstra as fases do processo de classificação a imagem, a segmentação e a classificação.

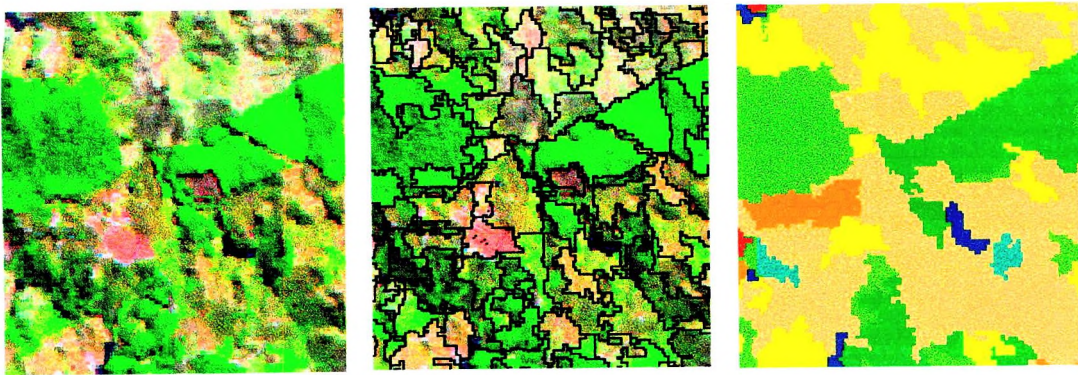


Figura 14 - Exemplificação de um típico processo de classificação de uma Imagem de satélite.

Portanto, a classificação consiste basicamente em fazer com que o computador reconheça que um determinado "pixel" da imagem pertença a uma classe pré-estabelecida pelo pesquisador, ou seja, a classificação pode ser definida genericamente como o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Assim, as técnicas de classificação são usadas para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, onde cada "pixel" tem as coordenadas espaciais "x", "y" e a coordenada espectral "L", que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral. Cada "pixel" de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro "pixel", em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de várias bandas, existe um gradiente de diferentes níveis de cinza associados para cada "pixel", sendo um para cada banda espectral.

O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo "atributos espectrais". Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.

- Classificadores "pixel a pixel" - utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas.
- Classificadores por regiões - utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos. Estes classificadores tentam traçar áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura.

Assim, como resultado de uma classificação digital por classes espectrais tem-se a elaboração de um mapa onde cada "pixel" classificado é representado por símbolos gráficos ou cores, gerando, por exemplo, um mapa de uso do solo.

Ainda os processos de classificação podem ser divididos em dois tipos básicos: a classificação unidimensional, efetuada em apenas uma banda espectral e a multiespectral, em que são utilizados vários canais espectrais.

O uso de imagens multi-espectrais coletadas por satélites tais como o Landsat tem-se mostrado como uma valiosa ferramenta para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais. A obtenção das informações espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando à identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens.

A classificação automática pode ser realizada de duas maneiras, supervisionada e não-supervisionada. Na classificação não-supervisionada, cada pixel da imagem é associado a uma classe espectral sem que o usuário tenha um conhecimento prévio do número ou identificação das diferentes classes presentes na imagem.

Já, na classificação supervisionada, o pesquisador pode selecionar as amostras representativas para cada uma das classes que se deseja identificar na imagem. Geralmente, assume-se que as classes podem ser descritas por uma função densidade de probabilidade e, portanto, descritas por seus parâmetros estatísticos. Estes parâmetros são estimados através do conjunto de amostras de treinamento, previamente selecionados. A função densidade de probabilidade será, então, usada como um critério de decisão sobre a que classe um pixel pertence.

2.8. Interpretação de Imagens de satélite

O trabalho de interpretação de uma imagem de satélite consiste na obtenção de informações dos objetos, áreas e fenômenos pertencentes a um cenário imageado por um sensor remoto.

Segundo Florenzano, (2002), os elementos básicos para uma interpretação visual que compõe essa cena são: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização, a saber:

1. A tonalidade cinza é um elemento utilizado para interpretar imagens em preto e branco, sendo a imagem imageada representada por diferentes tons de cinza. Na **Figura 15** quanto mais o objeto refletir a energia solar mais próximo ao branco irá ficar sua representação, ao passo que, quanto mais absorção ocorrer, mais negro ficará o objeto.

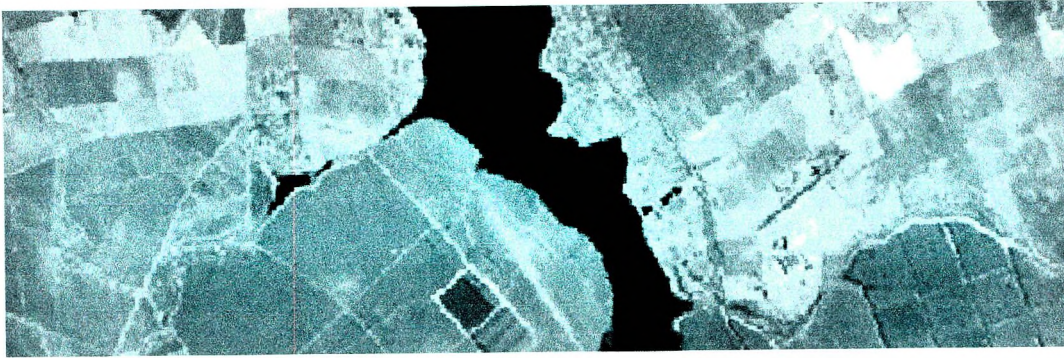


Imagem Landsat banda 5

Figura 15 - Variação da diferença entre a tonalidade de cinza dos objetos em uma imagem Landsat.

2. A cor é utilizada em interpretações de imagens coloridas, em que existe uma variação do gradiente de cores possibilitando a diferenciação dos alvos (objetos da cena).

A **Figura 16** apresenta a mistura entre as cores (processo aditivo) que facilita a interpretação, pois o olho humano distingue melhor composição colorida do que variações de cinza.

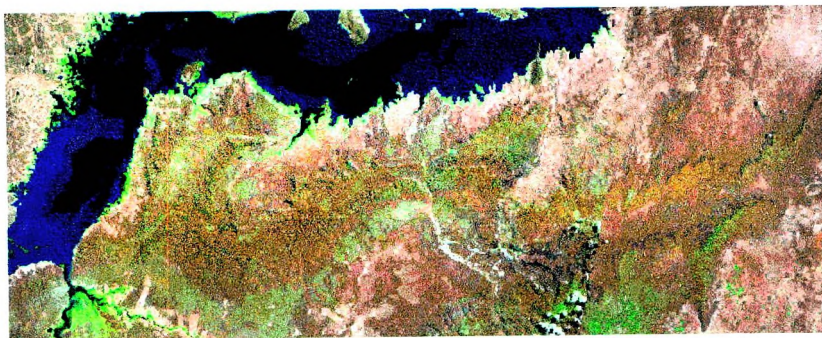


Imagem Landsat bandas 3,4,5

Figura 16 - Diferenciação de diversos objetos coloridos, Imagem colorida Landsat bandas 3,4 e 5.

3. A textura tem referência como o aspecto liso ou rugoso de um objeto na imagem. A textura é importante na identificação de unidade do relevo. Texturas lisas, relevos aplainados, e textura rugosa terrenos acidentados e/ou dissecados por drenagem (**Figura 17**).

Com relação à vegetação, uma área que apresenta mais homogeneização como uma área de reflorestamento, tem a tendência de ser mais lisa do que uma área de mata, onde são mais heterogêneos os alvos.

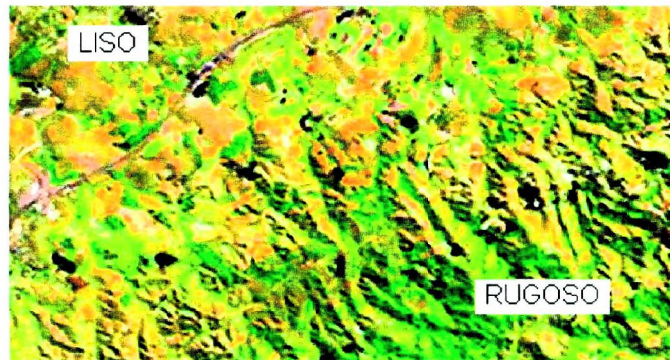


Figura 17 - Diferença de textura em uma imagem de satélite TM composição colorida. Bandas 3, 4 e 5.

4. O tamanho é a função de escala em uma imagem, e relativo aos objetos. A função tamanho distingue objetos como uma casa ou uma indústria.

A **Figura 18** apresenta duas imagens de satélite Ikonos, destacando alguns alvos localizados em função do seu tamanho.



Figura 18 - Distinção de objetos em uma imagem de satélite em função do seu tamanho.

5. A forma é uma função muito importante no processo interpretativo; através dela podemos identificar uma estrada ou um rio, apenas pela sua forma na imagem. Em geral, formas regulares em uma imagem são fruto da ação antrópica, como uma cultura de cana ou um reflorestamento; já formas mais

irregulares geralmente estão associadas a objetos naturais como matas ou feições do relevo, **Figura 19**.

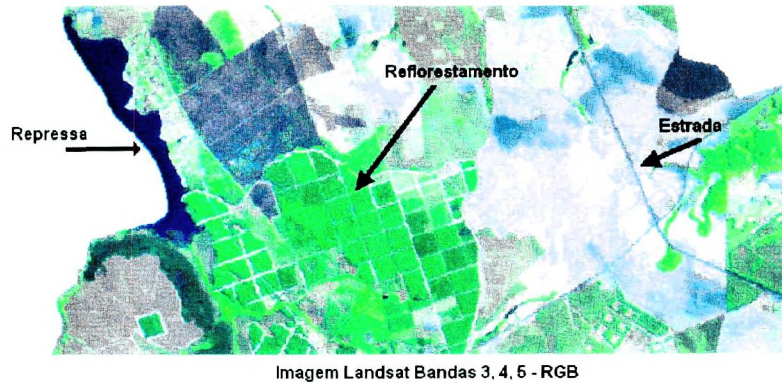


Figura 19 - Identificação de Alvos em uma Imagem Landsat bandas 3, 4 e 5

5. A sombra também é uma importante ferramenta na identificação de objetos, podemos estimar o tamanho e a forma através da sombra, o cuidado é que essa sombra também pode esconder objetos. A **figura 20** apresenta duas situações, uma em que a sombra de nuvens incide sobre a superfície da terra “baqueando” a visão dos objetos que estão abaixo dela, e a sombra que o relevo apresenta em função da inclinação dos raios solares que é útil para interpretar as formas do relevo.

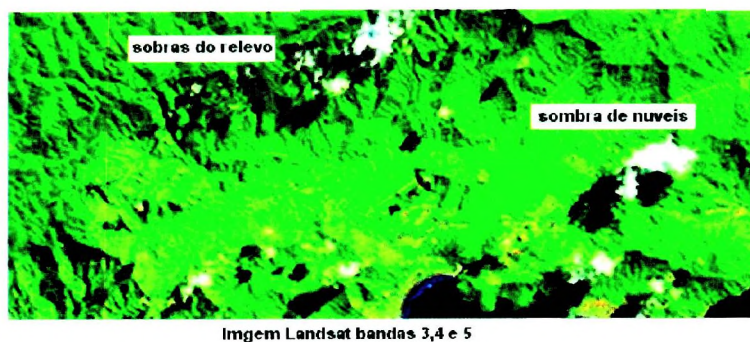


Figura 20 - Exemplo da projeção das sombras em uma imagem de satélite Landsat bandas 3, 4 e 5.

6. O padrão está ligado a um possível arranjo espacial dos objetos como, por exemplo, o alinhamento de um conjunto habitacional de prédios.

2.9. Análise Digital de Imagens Multitemporais

A idéia da análise digital de imagens multitemporais é a mesma idéia da análise de bandas espectrais, só que aqui a variação é a data; assim, trabalha-se com os mesmos canais em diferentes datas.

Segundo Olenski, (1994), as limitações espaciais, espectrais e temporais afetam a detecção digital de mudanças. Há, contudo, uma variedade de métodos que realizam este tipo de análise, a saber:

- A diferença de imagens ou razão de imagens, que são métodos práticos, mas que podem muitas vezes ser demasiadamente simples para identificar mudanças complexas;
- A comparação de resultados provenientes da classificação digital, os quais são úteis quando dispomos de uma classificação precisa da área;
- A análise dos principais componentes, a qual parece ser a técnica de pré-processamento mais promissora para auxiliar a extração de informações multitemporais;
- A análise do vetor de mudança, que também parece como uma possível alternativa para se analisar os dados;

A classificação de imagens multitemporais pode ser realizada em dois diferentes métodos, a comparação pós-classificação e a classificação de mudanças espectrais.

Na classificação pós-comparação, deve ser gerado um mapa contendo as áreas em que ocorreram mudanças ou uma matriz que expresse a natureza da transição.

Na classificação de mudanças espectrais temporais elabora-se uma classificação simples com todas as bandas disponíveis para área e as datas estudadas, buscando identificar as mudanças na cena.

3. Consideração teóricas em Sistemas de Informação Geográfica

A intenção aqui é expor alguns dos conceitos teóricos básicos de sistemas de informação geográfica, no sentido de fundamentar a aplicação neste trabalho.

3.1. Síntese Histórica da Evolução do Geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica.

As técnicas de geoprocessamento têm sido utilizadas desde o século XIX na aplicação e busca de resultados que possam auxiliar nas tomadas de decisões.

Uma das primeiras constatações deste fato ocorreu, em 1854, na cidade de Londres, que então vivia uma epidemia de cólera. O inglês John Snow dedicou-se à aplicação do “conceito” de geoprocessamento para entender esse fenômeno. Assim procedeu ele:

Mapeou todos os poços de água que abasteciam a capital Londrina, levantou o endereço dos óbitos ocasionados pela cólera, daí em diante, ele correlacionou especialmente duas variáveis: poços de água que abasteciam a cidade de Londres e a ocorrência de casos da doença (CÂMARA et al, 1997). – a **figura 21** apresenta o esboço desse mapeamento.

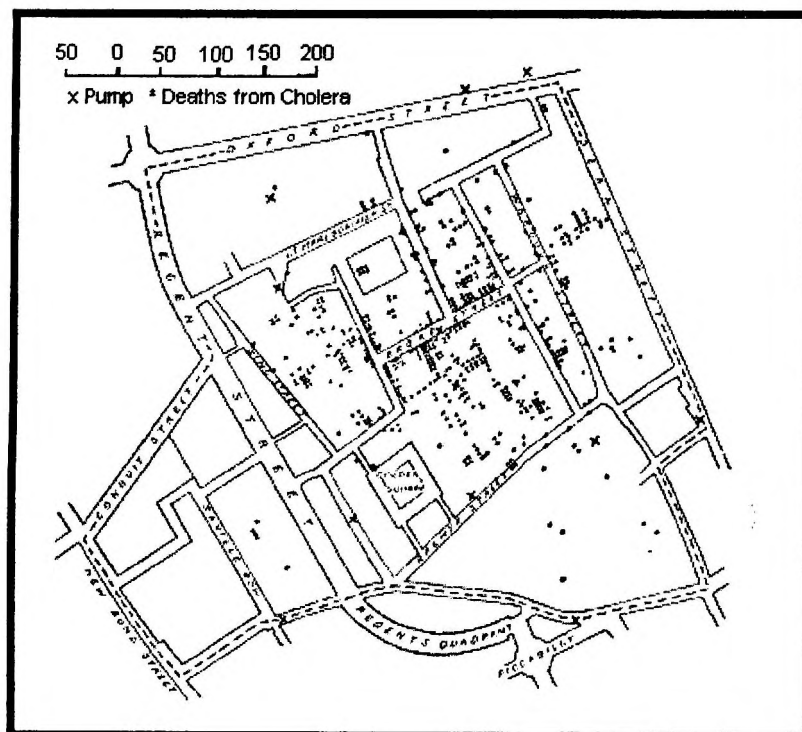


Figura 21 Mapa da área da cidade de Londres, com Óbitos por Cólera, identificado por pontos e poços de água e representado por cruzes.

Com a confecção desse mapa, o Dr. Snow percebeu uma concentração dos casos próximo ao poço da “*Broad Street*”. Ele decidiu então fechar o fornecimento de água daquele poço, e com isso contribuiu muito para a diminuição da disseminação da Cólera.

Esse trabalho de observação de evidências, trabalho empírico, e a formulação da hipótese de que a doença era transmitida pela ingestão da água contaminada forneceram evidências da forma de transmissão da doença que futuramente foram comprovadas.

O esforço do Dr. Snow neste trabalho foi praticamente o pioneiro na área de Análise Espacial, demonstrando o seu poder no suporte da compreensão da realidade (CÂMARA et al, 1997)

Neste trabalho, também é possível detectar as premissas do exercício da Análise Espacial, que é basicamente a de realizar operações com dados

georeferenciados, isto é, aqueles dados que expressam um fenômeno espacial com referência terrestre. Esta definição está presente no trabalho realizado pelo Dr. Snow, caracterizado pela presença de uma base georeferenciada (mapa de Londres) com os dados plotados (poços e endereço dos óbitos) e a partir daí, a interpretação e conclusões dos dados.

Como visto esse processo metodológico de análise pode ser feito tanto de forma analógica como na digital. O exemplo demonstrado anteriormente é justamente a aplicação do conceito de geoprocessamento em uma forma analógica.

Segundo Câmara, (1997), as primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Dada a precariedade da informática naquela época e a especificidade das aplicações desenvolvidas (pesquisa em botânica, na Inglaterra, e estudos de volume de tráfego, nos Estados Unidos), estes sistemas ainda não podem ser classificados como "Sistemas de Informação Geográfica".

O primeiro Sistema de Informação Geográfica, baseado em computadores, foi desenvolvido nos anos 60, sendo projetado para o manuseio de dados provenientes dos recursos naturais, e também, uso do solo. (MARBLE, 1983).

Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de serem utilizados, pois não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e ainda, a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima, não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas. Portanto, é na década de 60 que eclodem os primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIG) computacionais.

De acordo com SPANS, (1990), o "*Canadian GIS*", desenvolvido no Canadá, é o primeiro SIG a surgir baseado em computadores. Ele é fruto surgimento de várias tecnologias computacionais, associado ao desenvolvimento de mapas digitais. Apesar de seu pioneirismo, esse sistema e os outros que emergiram nesta década sofreram alguns problemas de desenvolvimento tecnológico, resultando em dificuldades de processamento, implantação e freqüentes "*Bugs*" nos seus sistemas, como comentado anteriormente, acarretando o abandono de muitos deles.

Segundo Tomlison, (1990), o *SIME, U.S. Bureau of The Census*, para tratamento de dados urbanos e os *MAP/MODEI, Washington State* e o *PIOS, San Diego Country*, para tratamento de banco de dados, foram algumas tecnologias que se destacaram na década de 60. Durante os anos 70, de acordo com Câmara et al, (1997), foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então que a expressão "*Geographic Information System*" foi criada, e começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de CAD "*Computer Aided Design*", ou projeto assistido por computador, que melhoraram em muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, e serviram de base para os primeiros sistemas de cartografia automatizada. Ainda durante essa década foram desenvolvidos alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional.

Portanto, na década de 70, viveu-se um grande desenvolvimento das tecnologias computacionais, podemos destacar que se avançou na direção das questões de hardware, com melhoria no desempenho das máquinas e aumento da quantidade de memória disponível processável. Junto a isso, principalmente nos Estados Unidos, o governo intensificou os estudos das questões ambientais, e, como o estudo dos fenômenos ambientais envolve a manipulação e correlação de diversas variáveis e isso na forma analógica pode despende muito tempo e custo, aconteceu o interesse em desenvolver pesquisas de desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica mais qualitativos.

Dessas pesquisas surgiram duas tecnologias o DBMS (*Database Management Systems*), voltado para o tratamento os atributos das informações geográficas e os *Softwares* para processamento digital cartográfico, voltado para as informações cartográficas.

Nos anos 80, com o relativo barateamento das estações gráficas, amplia-se a utilização dos SIG com aplicações agora nas áreas de transporte, saúde, planejamento urbano etc, e agora sendo reconhecidamente fundamental para o auxílio da compreensão da realidade. Há o avanço nas interfaces dos softwares, com a união das duas tecnologias (DBMS e o Processamento Digital Cartográfico ou "*Cartographic Processing*") em apenas um único módulo, facilitando a acessibilidade e manipulação das informações dos atributos e dados geográficos, e assim culminando na disseminação de sua utilização.

Nos anos 90, prosseguem as pesquisas das tecnologias de *hardware* e *software*, tanto no que diz respeito à melhoria do processamento quanto no tamanho físico dos mesmos. Isso acarretou um decréscimo do preço na aquisição desses equipamentos, pulverizando uma explosão no consumo dos chamados PC's (*Personal Computer*), que são os computadores pessoais. Os SIG's também seguem essa tendência e agora podem ser manipulados em equipamentos pessoais (PC's) com bons resultados, ampliando ainda mais sua utilização.

Estes novos *softwares* de Sistema de Informação Geográfica caminham bem além da correlação de dados gráficos e banco de dados; neles é possível associar imagem satelitais, trabalhando mutuamente em dois ambientes (o *raster* e o vetor), efetuando análises espaciais, álgebras de mapas, sobreposição de planos de informação "overlay", geocodificações, modelos numéricos de terreno, processamento e classificação de imagens de satélite, etc.

Portanto, podemos apresentar algumas tecnologias que fazem parte do arcabouço do Geoprocessamento tais como:

- *A cartografia* - para a elaboração de confecção de mapas;
- *OS CAD (Computer Aided Drafting) e Computação Gráfica* - com seus *softwares, hardwares* e técnicas de entrada de dados, exibição, visualização e representação em 2D e 3D, representação e manipulação de objetos gráficos;
- *Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (DBMS)* - constituem modelos de dados, estrutura de dados, segurança e processos de manipulação de grandes volumes;
- *Sensoriamento Remoto* - possui técnicas de aquisição e processamento de imagens, com facilidade de obtenção de dados sobre qualquer parte do globo terrestre, através de imagens orbitais ou fotográficas;
- *Inteligência Artificial* - tecnologia que usa o computador para emular a inteligência humana. O computador atua como especialista nas funções de desenho, mapeamento, classificação, generalizações de características de mapas. Assim a inteligência artificial provê modelos e técnicas de sistemas de desenho e análise;
- *Estatística* - provê modelos e técnicas de análise de dados que contribuem nos processos de tratamento, análise, síntese etc.
- *Informática* - contribui com o desenvolvimento de sistemas, tecnologias hardware e software para possibilitar o processamento dos dados.

Com a evolução da tecnologia de geoprocessamento e de softwares gráficos vários termos surgiram para as várias especialidades. O nome *Sistemas de Informação Geográfica* (ou *Geographic Information System - GIS*)

é muito utilizado e em muitos casos é confundido com geoprocessamento. O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados, enquanto que um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Em conformidade com essa idéia de aplicação do geoprocessamento, define Xavier da Silva (2001 p12) “[...] o geoprocessamento é o conjunto de técnicas computacionais que opera sobre base de dados (que são registros de ocorrência) georeferenciados, para as transformações de informações (que é um acréscimo de conhecimento) relevante[...].

3.2. Síntese do histórico do Geoprocessamento no Brasil

De acordo com levantamento de Câmara et al, (1997) o Geoprocessamento difunde-se no Brasil pelas mãos do Prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), ainda no início dos anos 80. Em 1982, chega ao Brasil o Prof. Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG (*o Canadian Geographical Information System*), que impulsiona o surgimento de alguns grupos interessados em desenvolver tecnologia, destacando:

- *UFR* - o grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier da Silva, desenvolveu o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental). Esse sistema tem seu forte na capacidade de análise geográfica e vem sendo utilizado com sucesso como veículo de estudos e pesquisas.
- *MaxiDATA* - os então responsáveis pelo setor de informática da empresa de aerolevanteamento AeroSul criaram, em meados dos anos 80, um sistema para automatização de processos cartográficos. Posteriormente, constituíram a empresa MaxiDATA e lançaram o MaxiCAD, *software* largamente utilizado no Brasil, principalmente em aplicações de Mapeamento por Computador. Mais recentemente, o

produto dbMapa permitiu a junção de bancos de dados relacionais a arquivos gráficos MaxiCAD, produzindo uma solução para "desktop mapping" para aplicações cadastrais.

- *CPqD/TELEBRÁS* - o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS, iniciou, em 1990, o desenvolvimento do SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa), com uma extensiva aplicação de Geoprocessamento no setor de telefonia. Construído com base num ambiente de um SIG (VISION) com um banco de dados cliente-servidor (ORACLE), o SAGRE envolve um significativo desenvolvimento e personalização de *software*.

- *INPE* - em 1984, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) estabeleceu um grupo específico para o desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto (a Divisão de Processamento de Imagens - DPI). De 1984 a 1990 a DPI desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), para ambientes UNIX e MS/Windows. O SITIM/SGI foi suporte de um conjunto significativo de projetos ambientais, podendo-se citar:
 1. o levantamento dos remanescentes da Mata Atlântica Brasileira (cerca de 100 cartas), desenvolvido pela IMAGEM Sensoriamento Remoto, sob contrato do SOS Mata Atlântica;

 2. a cartografia fito-ecológica de Fernando de Noronha, realizada pelo NMA/EMBRAPA;

 3. o mapeamento das áreas de risco para plantio para toda a Região Sul do Brasil, para as culturas de milho, trigo e soja, realizado pelo CPAC/EMBRAPA;

O SPRING unifica o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. A partir de 1997, o SPRING pode ser obtido via Internet e é o software base desta pesquisa.

3.3. Características gerais dos SIG

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) vem sendo discutido ao longo do tempo e sua conceituação é ponto de convergência e divergência dos teóricos que a estudam. Para dar uma idéia de magnitude dessa discussão selecionamos alguns autores e suas idéias para definições sobre SIG.

- Os SIG são sistemas baseados em computadores, com procedimentos utilizados para armazenar e manipular as informações geográficas. Tal tecnologia tem-se desenvolvido tão rapidamente nas duas últimas décadas, que é considerada como uma ferramenta essencial para o uso efetivo da informação geográfica. Assim, os SIG têm se constituído em ambientes tecnológicos valiosos para as mais diversas áreas do conhecimento e atuação sobre o meio físico e social. (ARONOFF, 1989);
- Sistemas de Informação Geográfica é o conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real, (BURROUGH, 1986);
- O SIG é um sistema de suporte a decisão que integra dados referenciados espacialmente em uma ambiente de respostas e problemas, Cowen (1990).

Pela diversidade de definições dos diversos autores pode se concluir que um SIG tem uma variedade de aplicações e apresenta uma característica de multidisciplinariedade. Assim podemos enumerar duas características gerais do SIG:

- inserir e integrar, em uma só base de dados, informação cartográfica, cadastros urbanos e rurais, imagens de satélite, redes, modelos numéricos do terreno etc.
- combinar informações dos seus múltiplos níveis em operações de manipulação e análise, por algoritmos, assim como possibilitar consultas espaciais, recuperar dados, visualizar e gerar novos mapas.

Por possuírem essa natureza que possibilita a sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, podemos generalizar o uso dos SIG's em:

- como uma ferramenta na elaboração de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográfico com suporte ao armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Dessa forma o ambiente computacional permite analisar dados de forma integrada, com o objetivo de obtenção de soluções rápidas e precisas para problemas relacionados ao comportamento espacial dos dados. Os SIG's revolucionam o modo como as informações geográficas (imagens de satélites, fotografias aéreas e estatística) são manipuladas, as quais são usadas em pesquisas e projetos, tendo importante função no auxílio à tomada de decisão. (DALE e McLAUGHEN, 1990).

Essa adaptabilidade dos SIG vem recomendando sua utilização em diversas áreas, incluindo análise ambiental, planejamento de uso da terra, economia, e outras finalidades. Por esses motivos é crescente a utilização dos SIG tanto em pesquisas nas universidades como pela administração pública.

3.4. Estruturação de um SIG

Em uma estruturação de um SIG podemos apresentar os seguintes componentes, Câmara (1998).

- interface com o usuário;
- entrada e integração de dados;
- funções de processamento gráficos e de imagem;
- visualização e plotagem;
- armazenamento e recuperação de dados (em um banco georeferenciados)

Todos esses componentes mantêm um relacionamento de forma hierárquica, a saber:

- Nível mais próximo: a interface homem-máquina, que define como o sistema é operado e controlado;
- Nível Intermediário: um SIG, que deve ter mecanismos de entrada, processamento, visualização e saída de dados espaciais, no nível mais interno do sistema;
- Nível extremo: um banco de dados geográficos, que lida com os dados espaciais e seus atributos.

Em linhas gerais, as funções que o SIG operam são sobre os dados de uma área de trabalho, esses dados são recuperados dos arquivos em disco (que podem ser controlados por um sistema gerenciador de bases de dados - SGBD) e carregados em memória, a partir da definição de uma região geográfica de interesse, Câmara (1998). O inter-relacionamento dos principais componentes está indicado na **figura 22**.

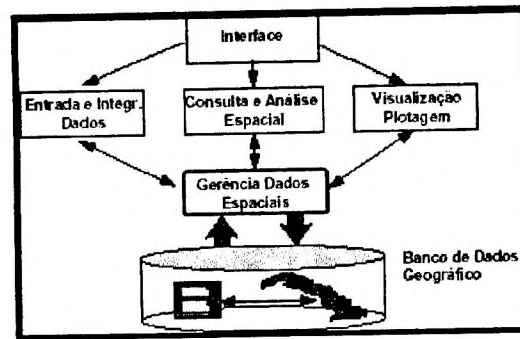


Figura 22 – Estrutura Interna do SIG

A estrutura do SIG armazena a geometria e os atributos dos dados georeferenciados, isto é, sua localização na superfície terrestre numa projeção cartográfica. Os dados tratados dentro de um SIG têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

A diferença de sistemas SIG para um CAD é a capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos conhecida por topologia. Ela é uma estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que se podem estabelecer entre objetos geográficos.

Dentro da estrutura do SIG o requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas, essa estrutura caracteriza a estrutura funcional do SIG.

3.5. Entrada de Dados em um SIG

De acordo com Câmara et al, (1997), diferentemente dos bancos de dados convencionais, um SIG pode armazenar informações de diversas naturezas como a gráfica (vetores e imagens). Para isso, é necessário que o SIG conte com módulos ou interfaces que permitam que o usuário possa incorporar dados e visualizá-los graficamente. Além disto, o sistema precisa ser capaz de detectar falhas e incorreções nos dados gráficos, e sinalizá-los para o

usuário antes de deixar que dados incorretos ou inconsistentes sejam incorporados ao banco de dados geográfico. Em resumo, o SIG precisa ser capaz de:

1. executar o processo de digitalização de dados gráficos na forma vetorial, possibilitando a associação (ou digitação) das informações alfanuméricas correspondentes;
2. executar a integração de imagens digitais ao banco de dados, através de recursos de georeferenciamento de imagens ou mesmo através da integração da imagem ao banco;
3. efetuar análises de consistência sobre os dados vetoriais, visando detectar incorreções na topologia ou inconsistências com relação ao modelo de dados. Essas incorreções incluem: erros de fechamento topológico (elementos poligonais), superposições indesejáveis;
4. efetuar procedimentos de "limpeza" ou correção sobre os dados adquiridos, visando a melhorar sua qualidade e prepará-los para a incorporação ao banco de dados geográfico.
5. receber, converter e tratar dados provenientes de outros sistemas de informação, geográficos ou não, gráficos ou não, a partir de arquivos de formato padronizado.

As funções de entrada de dados continuam a ser uma das fases mais críticas quando da utilização de um SIG. Em processos manuais ocorrem muitos erros, e a solução desses erros por procedimentos automáticos é lenta e de difícil realização. A digitalização por processos mais automatizados (digitalização semi-automática e automática) é cada vez mais utilizada oferecendo melhores resultados para a entrada de dados com melhor qualidade

3.6. Manipulação e Análise de dados em SIG

A manipulação e análise de dados geográficos podem ser agrupadas de acordo com o tipo de dado tratado (correspondente a uma geometria distinta): *análise geográfica, processamento de imagens, modelagem de terreno, redes, produção cartográfica*, entre outras. A seguir apresentaremos uma breve descrição dessas funções, Câmara (1998).

- *Análise Geográfica*: permite a combinação de informações temáticas. Pode ser realizada no domínio vetorial ou domínio matricial (“raster”). Um conjunto importante de procedimentos de análise geográfica foi definido por Tomlin (1990) denominado “Álgebra de Mapas”, estas definições são a base de implementações de operadores de análise em diferentes sistemas. Estas funções incluem: Reclassificação; Intersecção (“*overlay*”); Operações, booleanas e matemáticas entre mapas; e Consulta ao banco de dados.
- *Modelagem Numérica do Terreno*: Permite cálculo de declividade, volume, cortes transversais, linha de visada. Fundamental para aplicações de engenharia, o conjunto básico consta de: Determinação do modelo (grade regular ou triangular) a partir de pontos esparsos ou linhas; geração de mapas de contorno (isolinhas); Geração de mapas de declividade e de aspecto; Visualização 3D (com imagens e temas); Cálculo de volumes; e Análise de perfis.
- *Modelagem de Redes*: O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste tipicamente no cálculo de caminho ótimo e crítico. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. No caso de um sistema telefônico, uma questão a ser solucionada pode ser: “quais são todos os telefones servidos por uma dada caixa terminal?”. Já para uma rede de água, pode-se perguntar: “Se injetarmos uma dada porcentagem de cloro na caixa d’água de um

bairro, qual a concentração final nas casas?” Deste modo, um sistema de modelagem de redes só terá utilidade para o cliente depois de devidamente adaptado às suas necessidades. Esta adaptação pode levar de seis meses a vários anos. Isso impõe uma característica básica para esta aplicação, ou seja, os sistemas devem ser versáteis, maleáveis, e adaptáveis. No caso das aplicações de redes, a ligação com banco de dados é fundamental. Toda a informação descritiva está guardada no banco de dados, pois os dados espaciais têm formatos relativamente simples. Mais do que em outras aplicações de SIG's, é na área de redes que o uso de soluções mais modernas como SGBD's orientados a objetos está se impondo.

3.7. A integração do Sensoriamento Remoto e dos SIG

A utilização do Sensoriamento Remoto como fonte de dados para o Sistema de Informação Geográfica se dá por dois fatos: pelo surgimento de detectores instalados em plataformas orbitais com resoluções cada vez menores, e o grande volume de dados que esses sensores vem produzindo.

Segundo Olenski, (1994 apud Jesen, 1986), para se explorar satisfatoriamente as potencialidades do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, essas tecnologias deveriam estar integradas, e ainda, a utilidade real dos dados de sensoriamento remoto está intimamente relacionada ao fato de esses dados estarem ou não associados a outras informações espaciais, usualmente armazenadas nos sistemas de informação geográfica.

Segundo Ehlers (1989), a integração dos sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto tem sido facilitado por uma série de desenvolvimentos tecnológicos, 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.

Ainda o mesmo autor destaca as vantagens obtidas pela integração do sensoriamento remoto e dos sistemas de informação geográfica:

- a adequação das imagens de satélite para elaboração de mapas base e revisão de mapas já existentes, eliminando fases intermediárias;
- possibilidade de se realizar a visualização do terreno combinando imagens de satélites e modelos numéricos do terreno, gerando perceptivas realísticas;
- utilização de imagens de sensoriamento remoto para atualização de bancos de dados dos sistemas de informação geográfica;
- utilização do sistema de informação geografia como ferramenta no auxílio à interpretação de imagens, através do uso do formato vetorial na delimitação de áreas e do formato matricial para classificá-las.

Portanto, a integração dos SIG's e do Sensoriamento Remoto é uma tendência crescente, pois as imagens de satélites trazem uma enormidade de dados que os sistemas de informação podem adsorver e se adicionaram de forma fundamental nos estudos atuais. Ehlers (1989), comenta que essa união traz um incremento na capacidade do sistema resultante da fusão das duas técnicas, mais que a simples soma das mesmas.

PARTE II

A Parte II do trabalho apresenta os objetivos, procedimentos, técnicas, conceitos e resultados da pesquisa.

4. OBJETIVOS

Em linhas gerais este trabalho pretende desenvolver um mapeamento apresentando o panorama ambiental do município de Itirapina, São Paulo, utilizando dois diferentes métodos de inferência geográfica: o Booleano Ponderativo e o Processo Analítico Hierárquico e comparar os resultados dos modelos.

Como objetivo mais específico, destacamos:

- Diferenciar os modelos em função dos procedimentos técnicos-operacionais adotados, permitindo a identificação das áreas em estabilidade e instabilidade ambiental à erosão em função dos fatores considerados
- Elaboração de um conjunto de mapas digitais a partir de mapas analógicos e imagens de satélites para a área de estudo, criando uma estrutura digital (mapas digitais) para o desenvolvimento desta pesquisa e também disponibilizar este material para futuros estudos.
- Utilizar nesta pesquisa o *software Spring* (produto desenvolvido pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) como base de Sistema de Informação Geográfica dessa pesquisa, que representa a tecnologia nacional e ainda é disponibilizado gratuitamente pela instituição para qualquer pesquisador.

5. METODOLOGIA - Fundamento Teórico e Metodológico

Os eventos e entidades ambientais podem ser estudados em termos de ocorrência de localizações coincidentes. A extensão da ocorrência coincidente pode ser estabelecida no nível de detalhe adequado aos dados disponíveis, definindo-se assim, a possibilidade de correlação baseada na localização e nos diversos níveis de ocorrência concomitante que venham a ser registrados. Além disso, os eventos e entidades ambientais podem ser analisados em termos de sincronia e suas alterações registradas, ou seja, na sua evolução, tal como constatadas pelos registros disponíveis.

Além disso, as considerações feitas são os elementos básicos das inferências de causalidade relativa aos eventos e entidades analisados. A partir disso, deve-se criar procedimentos analíticos e sintetizadores que revelam a presença inferida de relações causais aplicáveis às situações ambientais defrontadas. O geoprocessamento é a metodologia que permite a criação dessas ambiciosas ligações. Xavier da Silva(2001).

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica propicia a visão ambiental como um todo, tornando possível identificar relações de contingência, conexão, proximidade e funcionalidade entre os componentes de uma determinada situação ambiental.

A proposta metodológica de geoprocessamento assumida nesta pesquisa foi apresentada em Xavier da Silva, 2001 e divide o processo metodológico em duas grandes etapas: os procedimentos referentes ao diagnóstico e situações existentes ou de possível ocorrência, assim como os procedimentos de prognose, nos quais são feitas previsões e simulações ambientais relativas aos problemas ambientais em estudo.

Neste trabalho, só utilizaremos a primeira etapa de procedimentos diagnósticos, tratamento necessário à identificação no tempo e no espaço de dados e os problemas específicos relevantes para análise ambiental do Município de Itirapina, no Estado de São Paulo deixando o Procedimento de Prognose, para um momento futuro.

A etapa de Procedimentos Diagnósticos é dividida em dois grupos: os Levantamentos Ambientais e as Prospecções Ambientais. Em linhas gerais os Procedimentos Diagnósticos são os tratamentos necessários à identificação, no tempo e no espaço de dados e os problemas específicos relevantes para a análise da situação ambiental em estudo. A **figura 23** apresenta as etapas propostas pelo autor como metodologia de trabalho em geoprocessamento.

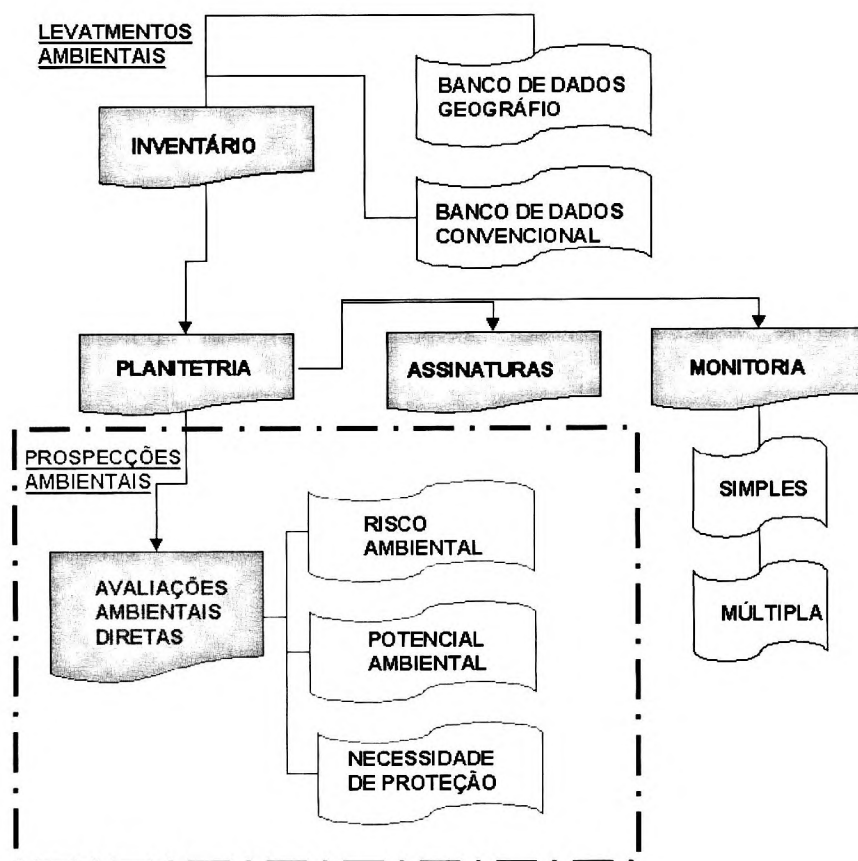


Figura 23 - Fluxograma dos Procedimentos Teórico Metodológico

Fonte: Adaptado de Xavier da Silva (2001)

A seguir apresentaremos a descrição das etapas principais da proposta metodológica de Xavier (2001) em duas etapas: Levantamentos Ambientais e suas fases e as Prospecções Ambientais e suas fases.

5.1. Levantamentos Ambientais

Abrange o cômputo das áreas de incidência de eventos e entidade, o acompanhamento da evolução de ocorrências territoriais e o uso da base de dados, como instrumento de identificação e, mais nobremente, de aprendizagem quanto a ocorrência da associação dos eventos e entidades e características ambientais. Nesta etapa iniciamos o Inventário, seguido da Planimetria – Assinaturas e Monitoria (Simples e Múltipla).

5.1.1. Inventário

São os levantamentos feitos em uma dada área de estudo em um tempo determinado ou em várias situações temporais. Esses levantamentos são compostos por mapas temáticos (pedológicos, geológicos, uso da terra etc) e também o levantamento de registros de eventos e entidades não espaciais. É também no inventário que deve ser julgada qual as características ambientais, naturais e sócio-econômicas são relevantes para a finalidade do levantamento proposto.

Em geoprocessamento faz-se o inventário criando um modelo digital do ambiente que compreende os dados cartografados, isto é o Banco de Dados Geográfico (BDG) que podem estar associados ou não ao Banco de Dados Convencional (BDC).

No BDG devem estar contidos os dados devidamente georeferenciados, possibilitando a manipulação dos dados graficamente. No BDC são armazenados os dados que não tenham uma expressão territorial,

como, por exemplo, o nome de logradouros, dados de produção agrária, incidência de doenças etc.

É importante a criação de um inventário ambiental adequado, apenas dados realmente necessários devem constar na base de dados. Normalmente as bases de dados são projetadas no início da investigação, e um superdimensionamento de tipos e números de dados pode ocorrer, implicando em gastos desnecessários e dados supérfluos, o contrário, ou seja, um subdimensionamento, também causa dificuldades.

Podemos sintetizar o inventário como o arcabouço físico e lógico representativo de uma realidade ambiental, compreendendo as variações identificadas dentro do território de análise, sendo um modelo digital do ambiente, onde é possível gerar classificações mapeadas, acompanhamento evolutivo de fenômenos, zoneamento e inferências.

5.1.2. Planimetria

Define-se como a identificação de área de ocorrência dos fenômenos observados através do Geoprocessamento, pelo qual é possível identificar a extensão territorial.

Possibilita a transformação dos dados de um inventário em ganho de conhecimento relevante, como exemplo a extração seletiva e combinada sobre uma base de dados geocodificadas gerando um mapa com um tipo de solo e vegetação particular, ou a extração seletiva de BDC (Banco Dados Convencional) do nome do proprietário rural, cuja área esteja sendo desmatada com fins legais.

A seguir serão descritos dois procedimentos exploratórios baseados na Planimetria - Assinatura e o Monitoramento Ambiental - com fim de obter informação ambiental.

5.1.3. Assinatura

Os Sistemas de Informação Geográficos permitem o trânsito entre localização e atributos, essa capacidade pode ser usada na conexão de trabalhos de campo e gabinete para a extração da chama assinatura ambiental. Similar a assinatura espectral de um alvo em imagem, (ou seja, como a resposta física da incidência de energia de um elemento no espectro eletromagnético que possibilita identificar o alvo); possibilita determinar características ambientais em área determinada, por exemplo, é possível identificar áreas críticas de enchentes determinando as feições críticas do evento.

5.1.4. Monitoria Ambiental

A Monitoria Ambiental trata da análise associativa temporal buscando a determinação da evolução de um evento e/ou fenômeno determinado. A Monitoria pode ser dividida em dois tratamentos: monitoria simples e múltipla.

5.1.4.1. Monitoria Simples

A monitoria simples consiste na definição de alterações de localização e extensão de características ambientais determinadas, ao longo de um período; pode ser realizada através da comparação da ocorrência da mesma característica ambiental ao longo de duas ocasiões registradas e contidas nos dados inventariados, por exemplo, o acompanhamento de uma frente agrícola sobre um território indígena.

5.1.4.2. Monitoria Múltipla

Nesta fase o pesquisador passa a trabalhar com os resultados em instâncias, isto é, uma característica deixou de existir em um determinado

tempo/local e em outro local passou a apresentar uma característica ambiental que não existia, exemplo: a identificação dos tipos de uso de solo que uma mancha urbana gera no processo de expansão.

5.2. Prospecções Ambientais

Aqui, o pesquisador pode fazer extrapolações territoriais baseado nos levantamentos de planimetria e nas assinaturas e monitorias já realizadas, gerando classificações do espaço geográfico.

As prospecções podem gerar avaliações ambientais, feitas a partir da utilização de procedimentos numéricos na definição da área de ocorrência de um conjunto de características ambientais procuradas. O uso de uma escala ordinal, aferida a partir dos dados originais de forma independente da escala de medição utilizada anteriormente, se for nominal, por exemplo, permite a elaboração de um universo classificatório com eixos ordenados, possibilitando a hierarquização de categorias de cada variável ambiental presente.

Esse procedimento, desenvolvido em um sistema de informação geográfica, utilizando estruturas lógicas de análise como a lógica booleana e o AHP, podem gerar uma avaliação ambiental para a área de estudo, avaliações estas que podem ser classificadas em Diretas e Complexas.

5.2.1 Avaliações Ambientais Diretas

Resultante da combinação imediata dos dados inventariados, por exemplo: os mapas de risco de potenciais ambientais.

5.2.1.1. Riscos Ambientais

O conceito do termo Risco Ambiental está, essencialmente, ligado à ocupação humana com possibilidades de ocorrência de eventos que sejam danosos a ela. Portanto, é dominante a definição de risco segundo sua importância para o homem e é geralmente tem uma conotação negativa, por exemplo: o termos de “alto risco” quando é aplicado a uma determinada situação ambiental. Os riscos ambientais deveriam compor as limitações do ambiente frente a uma alteração ambiental, a qual seria geradora de uma reação danosa e indesejável pelo homem.

Para a aplicação do conceito de Risco Ambiental em uma estrutura lógica como são os Sistemas de Informação Geográfica, geralmente são usadas inferências geográficas com base em estruturas numéricas, como, por exemplo, o Modelo Booleano Ponderativo, que consiste na adoção de uma escala numérica para a elaboração de uma ordenação classificatória dos níveis de variações que este Risco Ambiental poderá eventualmente ter; a variação da escala fica a critério do pesquisador que define os índices que cada variável venha a conter na escala classificatória.

A vantagem da utilização de uma classificação numérica é a possibilidade de se compor esses dados numéricos com outras variáveis ambientais, elaborando um panorama para um dado local e estabelecendo também, por exemplo, lugares onde existam “necessidades de proteção”.

5.2.1.2. Potenciais Ambientais

A análise do Potencial Ambiental elabora um levantamento das condições ambientais da área em estudo, caracterizando os processos de ocupação e de expansão - é possível proceder a estimativas de interesse ou intensidade, para elaborar o planejamento e gestão de área, a partir do inventário ambiental onde constem análise, assinatura e monitoria ambiental.

5.2.1.3. Necessidade de Proteção

Na avaliação das necessidades de proteção ambiental podem surgir elementos definidores das necessidades mencionadas, e não apenas os riscos que a situação ambiental apresenta, mas também os potenciais nela existentes, que podem definir igualmente as necessidades de proteção, como exemplo, o caso das Unidades de Conservação Ambiental (parques, reservas, etc.) onde existe risco de incêndio associado a queimadas em regiões limítrofes e, também onde os próprios potenciais turísticos que apresentam as unidades de conservação geram necessidade de proteção por serem elementos de atração para visitantes autorizados.

5.3. Aplicação da Metodologia na Pesquisa

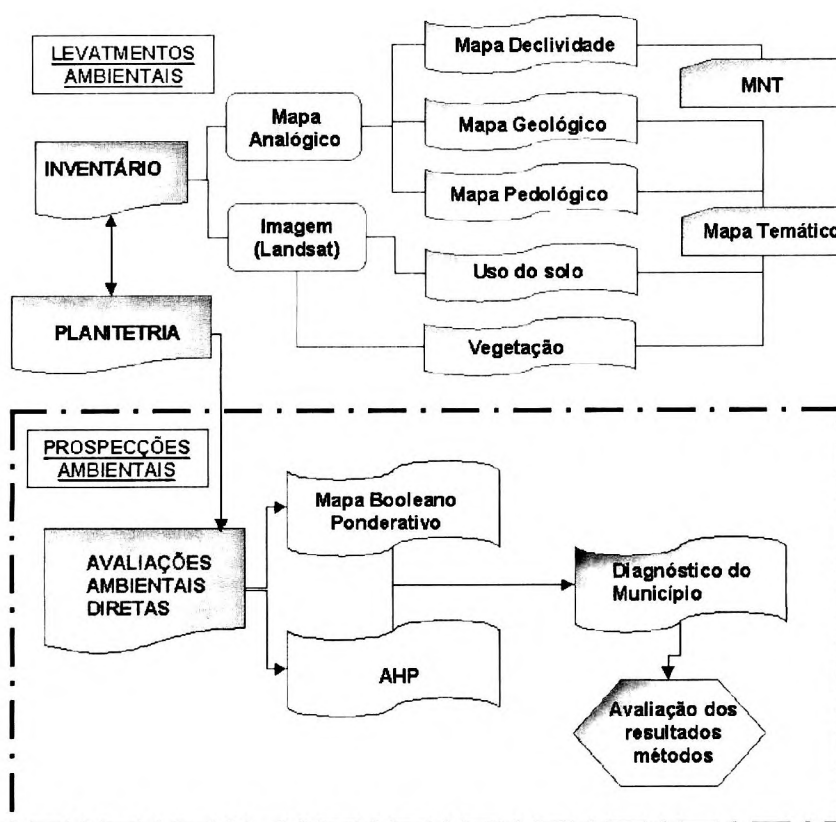


Figura 24 - Fluxograma da Aplicação da proposta metodológica de Xavier da Silva, 2001 na pesquisa do Município de Itirapina.

1ª Etapa – Inventário

Elaborado a partir do levantamento de mapas temáticos analógicos em bibliotecas da Universidade de São Paulo (USP), especificamente no Departamento de Geografia e de Geologia, bem como no Instituto Brasileiro Geográfico Estatística (IBGE).

A Imagem de satélite foi obtida junto a University of Maryland, via “Internet” no “site” Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility.

Os materiais (Mapas Analógicos e Produtos Digitais) utilizados estão discriminados na **tabela 1**.

Tabela 1 - Bases Analógicas e Digitais utilizadas na Pesquisa.

Mapas Analógicos			
Tipo	Descrição	Elaboração	Escala
Quadricula São Carlos SF-23-Y-A-I	Levantamento SemiDetalhado do Estado de São Paulo	Convênio Embrapa Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de SP Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária Instituto Agrônomo Divisão de Solos Seção de Pedologia	1:100.000 1981
Folha Geológica de São Carlos SF-M.100	Geologia	Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo	1:100.000 1964
Carta do Brasil SF 23-Y-A-I-1	São Carlos Topográfico	Instituto Brasileiro de Geografia Departamento de Cartografia - IBGE	1:50.000 1971
Carta do Brasil SF-23-Y-A-I-2	Corumbataí Topográfico	Instituto Brasileiro de Geografia Departamento de Cartografia - IBGE	1:50.000 1971
Carta do Brasil SF-23-Y-A-I-3	Itirapina Topográfico	Instituto Brasileiro de Geografia Departamento de Cartografia - IBGE	1:50.000 1969
Carta do Brasil SF-23-Y-A-I-4	Rio Claro Topográfico	Instituto Brasileiro de Geografia Departamento de Cartografia - IBGE	1:50.000 1969
Imagem de Satélite			
Tipo	Orbita/ponto	Bandas	Data
Landsat	220/073	3,4 e 5	23/02/2001

2ª Etapa - Planimetria

Nesta etapa deve-se aprofundar o conhecimento dos objetos que compõem o cenário ambiental e social/econômico do município através da exploração do banco de dados geográfico desenvolvido.

Podemos, por exemplo, cruzar os Planos de Informação de Pedologia e de Geologia para se averiguar a similaridade entre a ocorrência de uma determinada Litologia em concordância com o desenvolvimento de um determinado tipo de solo, no intuito de aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica ambiental da área.

3ª. Etapa - Monitoria Simples

Procedeu-se ao reconhecimento das características da ocupação que o Município sofreu e, quais as possíveis áreas que sofreram alteração em função desta ocupação.

Esta etapa permite definir: os locais que não sofreram alteração na segunda ocasião registrada, “era... e continua sendo ...”; os locais onde uma determinada característica passou a existir, por não ter sido registrada na primeira ocasião, “não era ... e passou a ser ...”; os locais onde a característica deixou de existir, tendo sido registrada na primeira ocasião, “era ... e deixou de ser ...”; e finalmente, os locais onde a característica não existia na primeira ocasião e continuou sem existir na segunda ocasião, “não era ... e continua sem ser ...”.

4ª. Etapa - Monitoria Múltipla

Após a identificação das áreas que surgiram ou desapareceram é possível responder o que ocorreu com a área devastada, qual tipo de solo sob determinada cultura vem se propagando.

5ª. Etapa - Prospecções Ambientais

Aqui, aplicou-se as duas técnicas de inferência geográficas - o Booleano Ponderativo e o Processo Hierárquico Analítico – obtendo como resultado mapas sínteses.

Esses mapas sínteses são modelos numéricos representados em níveis de cinza e são produtos das álgebras de mapas envolvidas em cada uma das inferências geográficas.

6ª. Etapa - Diagnóstico da Situação Ambiental

Esta etapa aplica um fatiamento ou classificação nos mapas sínteses gerados através das técnicas de Inferências Geográficas. Este fatiamento foi o estabelecimento de classes de estabilidade e instabilidade à erosão hídrica.

Estas classes foram elaboradas a partir da adaptação da proposta de Crepani, (1996) e teve como objetivos facilitar a interpretação dos resultados dos mapas sínteses.

7ª Etapa - Comparação dos Resultados

Esta etapa compara os resultados obtidos com a aplicação das duas técnicas de inferência geográfica, apoiando-se no fatiamento ou classificação dos mapas sínteses através da elaboração de tabelas e gráficos considerando a área de cada uma das classes (estabilidade e instabilidade) buscando estabelecer diferenças e semelhanças na classificação.

6. Características Gerais da Área de Estudo

Itirapina (na língua tupi guarani significa “morro pelado”), cidade do interior paulista (área de 254.600 Km²), com população estimada em 2004 (Fundação SEADE) de 14.258 habitantes – a **Figura 25** ilustra a localização do Município de Itirapina em relação ao Estado de São Paulo e seus vizinhos.

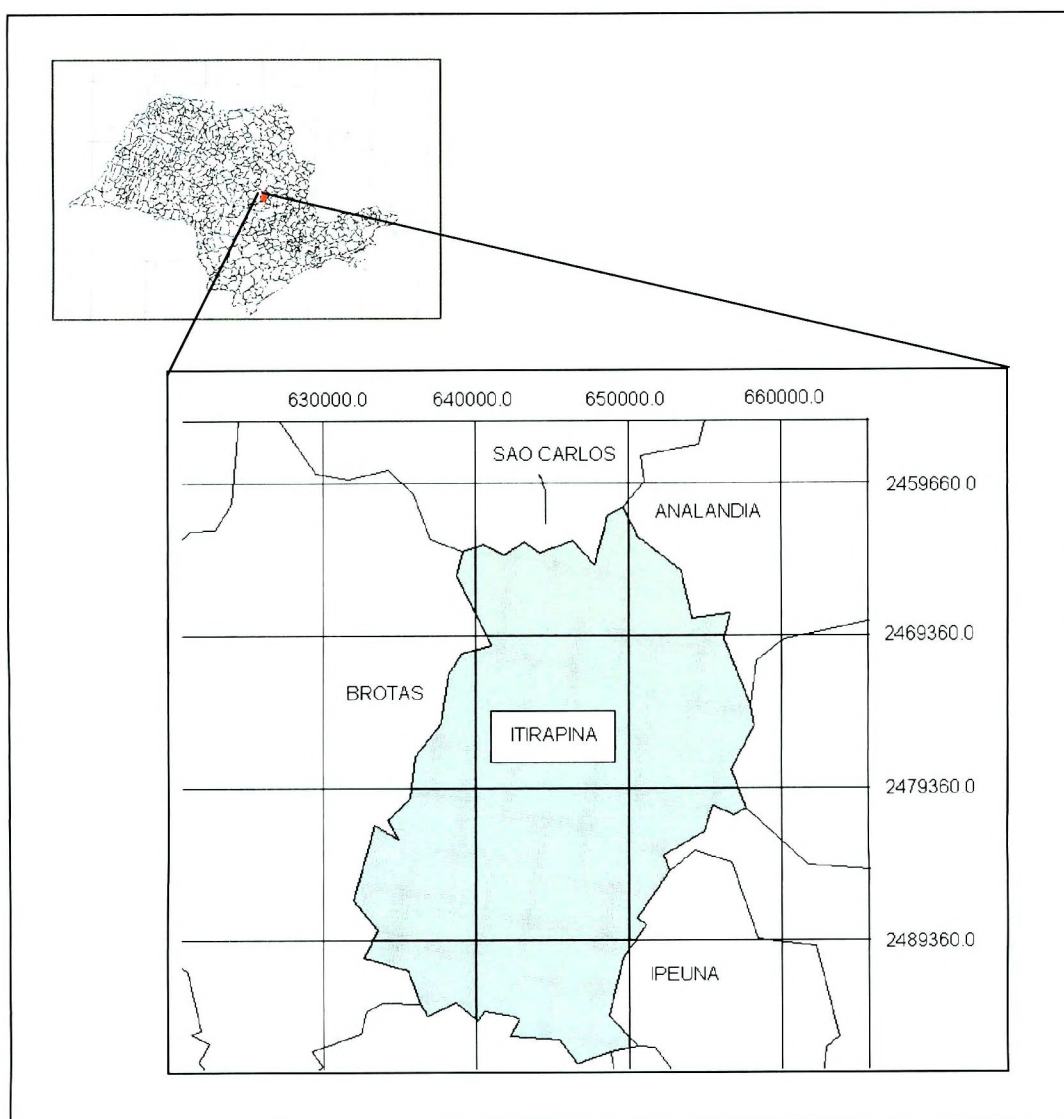


Figura 25 – Localização do Município de Itirapina no Estado de São Paulo.

Itirapina esta inserida na Área de Preservação Ambiental (APA) de Corumbataí, na região há predominância da atividade agrícola com cana de açúcar, sendo uma das maiores fontes de renda do município; seguida da cultura da laranja e do café (dita cultura permanente), a cultura do milho e do arroz está presente principalmente nas pequenas propriedades, e ainda destaque para o reflorestamento (pinhos e eucaliptos) vinculado a indústria de celulose. Na pecuária o que predomina é o rebanho bovino, seguido do suíno e eqüinos embora a criação de aves está em expansão na região.

Saneamento no Município: Abastecimento de Água: 99,67%; Esgoto Sanitário: 88,37% e Coleta de Lixo: 99,49%.

O Município cadastrou no Ministério do Trabalho em 2003: 212 estabelecimentos (Indústria: 11/ Comércio: 63/ Serviços: 37 / Outros: 101) com 2078 Empregos (formais – Indústria: 202 / Comércio: 302 / Serviços: 650 / Outros: 925)

Nas edições de 2002 do Índice Paulista Responsabilidade Social (IPRS), Itirapina classificou-se no Grupo 3, que compreende municípios com baixos níveis de riqueza e bons indicadores sociais. O município ganhou posições no *ranking* de riqueza (rendimento do emprego formal) municipal, manteve-se praticamente estável em escolaridade (taxa de atendimento à pré-escola), mas retrocedeu postos em longevidade (aumento da mortalidade infantil).

Neste cenário, Itirapina repetiu a classificação de 2000 e se manteve no grupo 3 do Índice Paulista Responsabilidade Social(IPRS). Fundação SEADE.

Município de Itirapina: *ranking em 2002*: Riqueza = 38º Longevidade: 69º
Escolaridade: 56º

6.1. Breve histórico da formação Município

Por volta de 1820 surgiu um pequeno núcleo populacional nas margens do ribeirão Claro que se chamou Itaqueri da Serra, onde foi construída uma capela de Nossa Senhora da Conceição da Serra, em 16 de maio de 1839. Em 5 de julho de 1852, a capela recebe o título de freguesia do município de Rio Claro, passando a se chamar freguesia de Nossa Senhora da Conceição de Itaqueri. Em torno da capela, o povoado cresceu e a sede da freguesia foi transferida, em 1873, para Itaqueri da Várzea, localizada na margem do ribeirão Itaqueri.

O impulso definitivo para o desenvolvimento do local ocorreu quando em 1885, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro inaugurou a linha até São Carlos e um ramal para Jaú, construindo a estação de Morro Pelado nas terras da ainda freguesia, atraindo um contingente significativo de população. Em 8 de janeiro de 1890, a freguesia mudou o nome para Morro Pelado e, posteriormente, em 28 de setembro de 1900, para Itirapina. A autonomia político-administrativa ocorreu em 25 de março de 1935, com a criação do município.

No cenário político administrativo do início do século XX, a economia paulista se baseava na produção de cana-de-açúcar e do café. Na região de Rio Claro, desde o início do século XIX, fazendeiros paulatinamente aumentavam o tamanho de suas propriedades de terra, que eram utilizadas para o plantio da cana, em sua maioria com a prática da remoção da cobertura vegetal através da queimada.

Na primeira metade do século XIX, nesta época estruturaram-se os latifúndios paulistas – “Barões do Café” e a cultura da cana-de-açúcar foi substituída pela cultura do café, que foi predominante na região de Itirapina até a década de 30.

A partir da década de 40, com as dificuldades do café no mercado externo ocorre a substituição dessa cultura por outras mais vantajosas, mas a estrutura fundiária consagrada pelo café mantém-se a mesma.

Com início da industrialização na década de 50 ocorreu uma mudança do enfoque econômico com a queda do setor agrícola, decorrente das dificuldades de concorrência de produtos nacionais no mercado externo, mas também pela própria política nacional vigente concentrando seus esforços no desenvolvimento do setor secundário.

Na década de 60, o advento do desenvolvimento industrial provocou a explosão do êxodo rural para as áreas urbanas das grandes cidades, entretanto na década de 70 com a crise mundial do petróleo iniciou-se a busca de fontes alternativas de energia – como a utilização da cana de açúcar para produção de combustível fez com que se incrementasse a produção agrícola de cana-de-açúcar, principalmente nesta região.

Os processos de ocupação do solo desde a introdução do café até a expansão da cana de açúcar marcaram uma forte alteração da paisagem natural da área de Itirapina.

Em 1983, o Decreto Estadual n.º 20.960 de 08 de junho declarou Área de Proteção Ambiental (APA), as regiões situadas em diversos municípios, dentre os quais Corumbataí (272.692 hectares), Botucatu (218.306 hectares) e Tejuapá (158.258 hectares) – sendo o Município de Itirapina incluído na Área de Proteção Ambiental (APA). Estas áreas são uma categoria de unidade de preservação, entendida como um ambiente de uso múltiplo onde se propõe conciliar as atividades humanas com a proteção ambiental, não sendo necessária sua desapropriação – neste sentido é possível identificar uma vocação antropocêntrica inerente a tal concepção de unidade de conservação.

Em 7 de junho de 1984, foi criada a Estação Ecológica de Itirapina sendo considerada de extrema necessidade, em função da importância ecológica, da preservação de uma significativa amostra do remanescente da vegetação do cerrado existente em áreas de domínio do Estado, numa área de 2.300 hectares (ha), localizada na estação Experimental de Itirapina – com a finalidade de assegurar a integridade dos ecossistemas e o conjunto fluvial ali existentes, de proteger a flora e fauna, bem como promover sua utilização para objetivos educacionais e científicos.

O Município de Itirapina está inserido parte no perímetro da APA Piracicaba – Juqueri-mirim e a APA Corumbataí – Botucatu – Tejuba que ainda conta com os municípios de: Dois Córregos, Santa Maria da Serra, Corumbataí, Analândia, Torrinha, Brotas, São Carlos, Ipeúna, Rio Claro e Barra Bonita. (figura 26)

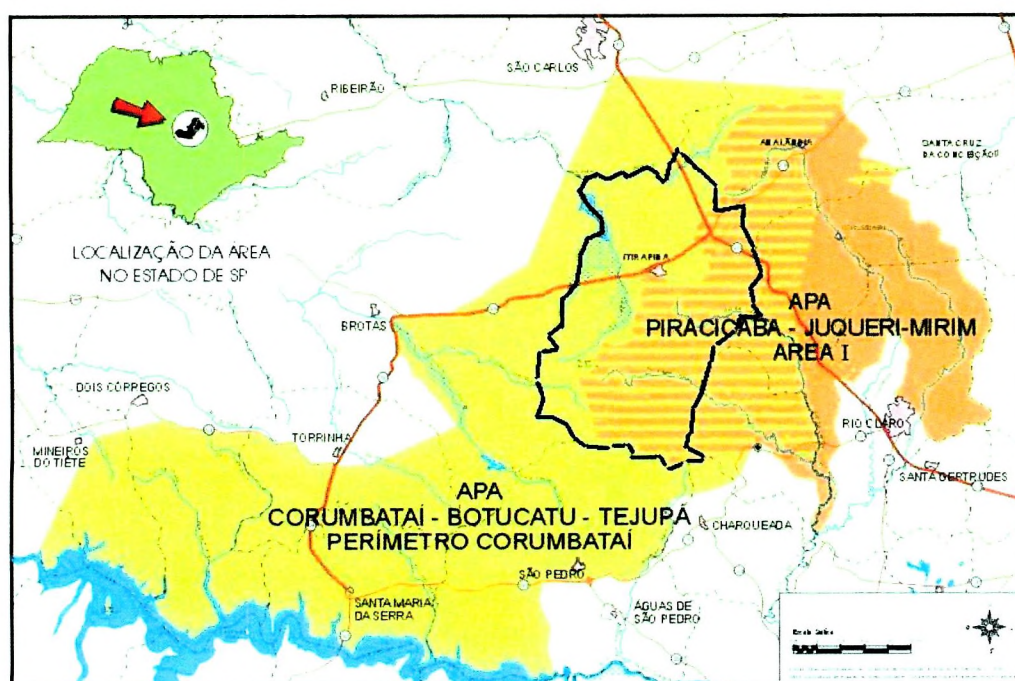


Figura 26 – Localização do Município dentro de Perímetro das APA's

A Área de Proteção Ambiental (APA) inserida em 33% da área do afloramento do aquífero Guarani nos três perímetros das áreas de Corumbataí, Botucatu e Tejupá, conforme Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo (2000).

Na região ocorre com frequência solos de Neossolo Quartzarênicos. O abastecimento do lençol é garantido pela permeabilidade alcançada pelas águas da chuva, em compensação, a vulnerabilidade e suscetibilidade aos processos erosivos se tornam presentes.

A drenagem da região está associada à Bacia do Rio Piracicaba cujas nascentes localizam-se no relevo das Cuestas Basálticas, ou seja, estes rios têm sua origem em terrenos acidentados, muitas vezes apresentando patamares abruptos, o que, como já foi mencionado, favorece a formação de quedas d'água.

As formações vegetais que permaneceram correspondem aos cerrados, cerradões e matas ciliares. Grande parte da área é ambiente útil à criação extensiva de gado bovino, plantação de café, cana-de-açúcar, laranja e pinus de eucalipto. Importantes remanescentes de vegetação original localizam-se, principalmente, nas vertentes e escarpas das Cuestas Basálticas e em fundos de vales. O conjunto destes dados confere a esta APA importante valor de preservação.

6.2. Aspectos Geomorfológicos e Geológicos

O município de Itirapina situa-se na região de contado de duas Províncias Geomorfológicas, a Depressão Periférica e as Cuestas Basálticas.

O relevo da região apresenta dois tipos de modalidades dominantes: Morros Alongados e Espigões, onde são predominantes os interflúvios, topos

achatados e vertentes ravinadas, apresentando em seu conjunto uma drenagem de média densidade. (AB'SABER,1954)

Não há, entre a Depressão Periférica e as Cuestas Basálticas, uma exata correspondência entre limites geológicos e geomorfológicos. Onde o entalhamento é mais profundo, formaram-se relevos de morros como os relevos mistos do tipo morros de topos achatados. (CHRISTOFOLETTI, 1968)

A região de Itirapina situa-se no contato da Depressão Periférica paulista; pode ser caracterizada por apresentar um relevo deprimido entre as escarpas mais avançadas da zona de cuestas, que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos, e o Planalto Cristalino Atlântico que é uma das unidades morfológicas características do Estado de São Paulo. (PENTEADO, 1968)

Segundo, Penteado (1976) dá uma definição morfológica da região de Itirapina como sendo um compartimento interplanáltico bem definido morfológicamente no conjunto da Depressão Periférica. Apresenta desníveis de 200 a 300 metros em relação às escarpas basálticas situadas a oeste e norte, local designado como Serra Itaquerí e Serra Santana,

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (1981 a) a área está localizada no contexto de litologias da Bacia Sedimentar do Paraná. As litologias presentes são de idades Paleozóicas e Cenozóicas, representadas pelo Grupo São Bento (Formação Serra Geral, Formação Pirambóia e Formação Botucatu) e Grupo Bauru (Formação itaquerí). Além de coberturas Cenozóicas, areias e cascalhos.

A Formação Pirambóia se manifesta morfológicamente através de morros testemunhos e paredões verticais de arenito nas vertentes das mais altas serras como a Serra Itaquerí, ainda se verifica que as bordas dos derrames basálticas apresentam-se como cuestas bastante elevadas e o

reverso da cuesta basáltica mostra-se como um planalto de relevo plano esculpido nos arenitos da Formação itaquerí.

Serão, a seguir, definidas as unidades geológicas da área resumidamente.

Grupo São Bento

Constituído pelas Formações: Pirambóia, Botucatu e Serra Geral.

ALMEIDA E BARBOSA, (1953) admitiram que as Formações Pirambóia e Botucatu representam um ciclo úmido de sedimentação refletindo condições climáticas que de quente e úmidas evoluíram para desérticas, porém distinguiram um membro inferior, o Arenito Pirambóia - de caráter predominantemente aquoso, e outro eólico correspondente ao Arenito Botucatu. A atividade vulcânica basáltica da Formação Serra Geral iniciou-se quando, ainda perduravam as condições desérticas.

- Formação Pirambóia (Triássico /Jurássico) caracteriza-se por apresentar arenitos finos e médios, de coloração esbranquiçada a avermelhada podendo apresentar porções sílico - argilosos; as estruturas predominantes são estratificações cruzada de pequeno porte.

Uma característica dessa unidade é a presença de níveis de folhelos e arenitos argilosos de cores variadas. A ambiência desta unidade é considerada de origem fluvial e de planície de inundação (IPT/1981 a).

- Formação Botucatu (Jurássico /Cretáceo) apresenta arenitos de granulação fina e média com grãos bem arredondados e superfície fosca, bem selecionados e de baixa porcentagem de finos; podem ser observados localmente arenitos conglomeráticosna base do pacote

(NISHYAMA, 1991); as estruturas sedimentares mais comuns são estratificações cruzadas planares de grande porte e tangenciais à base.

A ambiência desta formação caracteriza-se por um ambiente desértico com seus vários sub-ambientes.

- Formação Serra Geral (Jurássico /Cretáceo) caracteriza-se por derrames basálticos de composição toleítica, de coloração cinza e preta, textura afanítica, podendo ocorrer intercalações de arenito intertrape. Aqui estão incluídos os derrames de lavas, soleiras e diques diabásico. (IPT, 1981 a)

Grupo Bauru

- Formação Itaquerí (Cretáceo/ Terciário Inferior) – esta formação é assunto de grande discussão em função puramente de questões de denominação, Nishyama (1991).A sua ocorrência é confirmada na região da Serra de Itaquerí sendo caracterizadas por arenitos grosseiros conglomeráticos, com fácies pouco calcíferas e, localmente como cimento silicoso variando lateralmente para arenito calco-conglomeráticos; estes sedimentos podem ser considerados da Idade Cenozóica supra basálticas. Apresenta colorações rósea, vermelha e amarelada. Seixos de quartzo centimétricos a dessimétricos podem ser observados dispersos em uma matriz arenosa e siltosa.

Segundo Almeida & Barbosa (1953), as estruturas sedimentares não são muito distintas, podendo-se caracterizar estratificação plano-paralela ou cruzada nos arenitos, disposição caótica dos clásticos nos conglomerados mais grossos e estratificação de corrente nos mais finos. Tais características apontam um ambiente fluvial, podendo-se acrescentar que a disposição foi realizada em ambiente muito energético, sujeito a bruscas mudanças de velocidade de transporte. A **tabela 2** apresenta a relação entre litologia e pedologia da área de estudo.

Tabela 2 – Litologia e Pedologia da Área do Município

	Litologia	Pedologia
Grupo Bauru	Itaquerí	Latossolos Vermelho-Amarelos Argissolo (Podzólicos Vermelho-Amarelos)
Grupo São Bento	Serra Geral Botucatu Pirambóia	Latossolos Roxo Nitossolo (Terra Roxa Estruturada) Latossolo Vermelho-Escuro Neossolo

Fonte: Adaptado de Oliveira e Prado (1984)

6.3. Vegetação

A vegetação primitiva pode ser caracterizada, principalmente, por campos cerrados e cerradões. Esta vegetação é constituída por uma cobertura herbácea mais ou menos contínua e um dossel descontínuo de elementos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e folhas coriáceas, Adamoli et. Al., (1986).

Penteado (1968) afirma que a cobertura vegetal primitiva das matas, que recobriu os solos de Nitossolo formados a partir das rochas basálticas e os solos podzolizados de siltitos de topo de colinas, foi quase totalmente modificada e também que quase nada mais resta de revestimento natural dos cerrados e campos das partes mais elevadas do relevo tabular em latossolos formados de arenitos.

A vegetação primária, em muitas partes da área foi substituída por áreas de pasto e posteriormente pela cultura canieira e de *citrus* e ainda existem áreas com reflorestamento de Pinos vinculados à indústria de papel e celulose;

cabe destacar que ainda existem áreas com vegetação primária, resultado das condições típicas do meio físico (altas declividades) e são caracterizadas como áreas de conservação.

Classes	Área	Porcentagem
Capoeira	42,58	7,43
Mata	91,06	15,89
Reflorestamento	85,34	14,89
Total de Área do Município	573,03	38,21

A **figura 27** apresenta as áreas de mata e capoeira do município, esse mapa esboço foi produzido a partir do banco de dados geográfico elaborado nesta pesquisa.

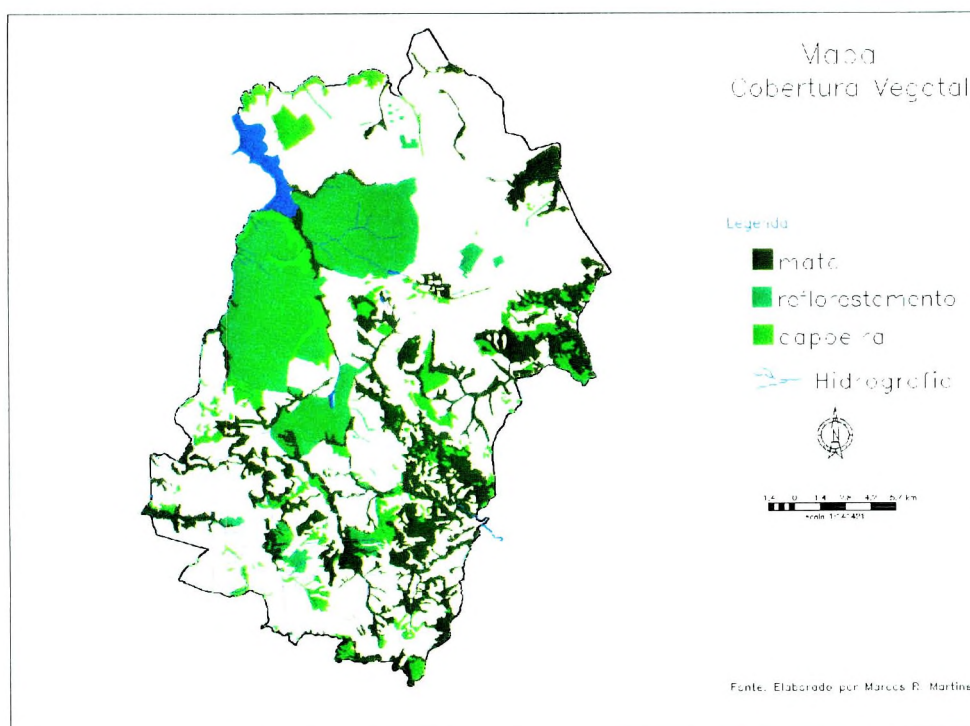


Figura 27 – Esboço das Principais núcleos de cobertura vegetal

Fonte: Elaborado a partir do processamento digital de Imagem de Satélite LandSat 7 ETM+ bandas ETM3, ETM4 e ETM5 órbita 220/73 de 23/02/2001

6.4. Aspectos Pedológicos

De acordo com o mapeamento pedológico realizado pelo Instituto Agrônômico, Divisão de Solos e Seção Pedológica da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, que abrange o Município de Itirapina, foram identificados oito classes de solo no perímetro que compreende o município de Itirapina, (**Quadro 03**).

Quadro 3 – Classes de solos da área de estudo

Descriminação	Nomenclatura
Neossolo Quartzarênico (<i>Areia Quartzosa</i>)	AQ
Latossolo Roxo	LR
Latossolo Vermelho Amarelo	LV
Latossolo Vermelho Escuro	LE
Argissolo (<i>Podzólico Vermelho Amarelo</i>)	PV
Nitossolo (<i>Terra Roxa</i>)	TE
Vertissolo (<i>Solos Hidromórficos</i>)	Hi
Neossolo (<i>Solos Litólicos</i>)	Or

A seguir apresentaremos algumas características dos solos da abrangência da área de estudo.

6.4.1. Descrição dos Solos

- **Latossolos Roxos:** são solos originários de matérias provenientes do intemperismo de rochas básicas, constituídos, na região, por basaltos e diabásicos, apresentando elevados teores de óxido de ferro. Geralmente esses solos atingem vários metros de profundidade, apresentando textura argilosa ou muito argilosa, com menos de 10% de areia grossa.

- **Latossolos Vermelho escuros:** em geral esses solos de cores vermelho-escuras e bruno-avermelhado-escuras, o município apresenta uma predominância dos LE-2 com texturas médias, resultante do intemperismo e retrabalhamento de arenitos com contribuição de rochas básicas.
- **Latossolos Vermelho-amarelos:** a área apresenta uma única unidade do latossolo vermelho-amarelo (LV-2) que apresenta textura média, com predominância de áreas grossas sobre a fina; são solos muito profundos. Eles são solos resultantes do intemperismo de arenitos e estão associados às áreas quartzosas.
- **Argissolo:** a região apresenta o predomínio do Argissolo (PV-2) que se caracteriza em textura arenosa em superfície e média em sub-superfície, onde a cor mais comum na camada superficial é a bruno-escuro. São solos que se desenvolvem sobre arenitos da Formação Botucatu/Pirambóia.
- **Nitossolo:** esta classe de solos compreende os derivados de rochas basálticas, apresentando texturas argilosas ou muito argilosas, ocorrendo principalmente associados aos Neossolos substrato basalto, em relevos fortemente ondulados e escarpados esculpido em rochas da Formação Serra Geral.
- **Neossolo:** apresentam como característica principal sua pequena espessura e a ausência de horizonte diagnóstico de subsuperfície ou, quanto a existência, ele é muito pouco espesso. São solos provenientes do basalto ou diabásio e também das Formações Botucatu e Pirambóia.
- **Vertissolos** Os Vertissolos da área apresentam as seguintes classes de solos: solo orgânico, *gley* húmico e *gley* pouco húmico. Os solos orgânicos apresentam uma camada superficial de material orgânico

(horizonte turfoso) igual ou superior a 40 cm de espessura, enquanto os gleis húmicos e os poucos húmicos apresentam uma camada de material inferior a 40 cm. Sua textura vai desde arenosa, abaixo da camada orgânica, até argilosa, sendo esta a mais comum. Situam-se nas áreas das planícies aluvionais, podendo ser observados nas margens do ribeirão Lobo, por exemplo.

- **Neossolo Quartzarênico:** são solos profundos com espessura superior a 200 cm, não Vertissolo, desenvolvidos sobre material de origem arenosa. A fração areia representada pelo quartzo é igual ou superior a 70%, e a fração argila é inferior a 15%. As áreas quartzosas profundas possuem uma variação considerável em cor no horizonte superficial, desde vermelho-acinzentado até bruno-avermelhado-claro, porém a mais comum é a bruno-escura. Na camada sub-superficial a cor varia desde vermelho-fraca até bruno-amarelada, sendo a predominância para a bruno-avermelhada.

6.5. Aspectos Climáticos

O clima da região do Município de Itirapina é o subtropical representado pelo tipo Cwa (classificação de Köppen) com duas estações bem definidas - inverno seco e verão chuvoso.

Os meses mais secos vão de março a setembro apresentando, de modo geral, o equivalente a 20% das precipitações anuais, correspondendo às médias de 250 mm. Para o mês de setembro temos as mais altas médias, ficando em 45 mm de precipitação, os meses com menores índices de precipitação são os de julho e agosto com 25 mm em média, (DUARTE, 1980).

Os períodos mais chuvosos concentram-se nos meses de outubro e fevereiro, sofrendo influência da massa tropical, com 80% das precipitações anuais, podendo chegar até índices de 1.200 mm, Duarte, 1980.

A região de Itirapina apresenta valores térmicos em média 18 a 21º C, mas nas altitudes acima de 1000 metros, como a serra de Itaquerí são registradas temperaturas inferiores em média a 19º C, constituindo um clima tropical de altitude nas estações de Analândia e Corumbataí, segundo dados do Departamento de Águas e Energia (DAEE).

7. Materiais, Procedimentos e Resultados

7.1. Equipamentos

A estação de trabalho utilizou:

- um monitor de 17" da Philips,
- uma CPU com a seguinte configuração: uma HD (*Hard Disk*) com capacidade para 40 *gb*, um processador AMD *Athon* de 1.7, 256 de memória RAM e com sistema operacional *Windows 98*.
- Software: Spring 4.0, R2V

A escolha dos equipamentos e programas para a montagem do banco de dados geográfico foi estabelecida considerando a capacidade em capturar e processar apropriadamente os materiais utilizados (mapas analógicos e imagens de satélite).

Os programas utilizados neste trabalho foram basicamente: Spring Versão 4.1. e R2V (*Advanced Raster to Vector Conversion Software*) – a opção por esses programas foi devido as diferentes necessidades das etapas do trabalho.

Para a etapa inicial (digitalização dos mapas analógicos) foi escolhido o programa de vetorização R2V, por ser eficiente na digitalização vetorial e ter uma interface amigável.

Para o complemento do trabalho foi utilizado no software Spring, pois ele tem eficiência no ambiente raster (matriz) e ainda permite a entrada de dados vetoriais, portanto permite a manipulação de dados raster e vetoriais.

Como a pesquisa tem etapas de aplicação de técnicas de inferências geográficas – que incluem processamento de álgebra de mapas com origem em mapas temáticos (vetoriais) e seus produtos expressos em modelos numéricos (raster) - a utilização do Spring foi adequada suportando esse tipo de operação.

Podemos Sintetizar que este trabalho utilizou o R2V para o processo de digitalização de mapas e no Spring à elaboração do banco geográfico.

7.2. Elaboração do Banco de Dados Geográfico e Modelagem

O primeiro passo para a utilização de um SIG é a criação e modelagem dos dados geográficos. Essa modelagem é essencialmente a criação de categorias, que especificamente no Spring podem ser dos tipos: Imagem, Numérico, Temático, Cadastral, Rede e Tabela Não-espacial.

Essas categorias determinam os tipos de dados e as possíveis manipulações. No **Quando 4** são apresentadas as características de cada Modelo.

Quando 4 - Estrutura de Modelagem de Dados no Sistema Spring

Modelo	Característica
IMAGEM	Categoria do modelo Imagem refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial. Exemplos: imagens TM/LANDSAT, SPOT, NOAA, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais através de "scanners" etc.
NUMÉRICO	Categoria do modelo Numérico refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Exemplos: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície etc.
TEMÁTICO	Categoria do modelo Temático refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação etc.
CLASSES	Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as Classes Temáticas, as quais são especializações da categoria. Tomando-se como exemplo uma categoria tipos de solo, cada um dos diferentes tipos de solos constituirá as classes. Por exemplo, latossolo roxo, argissolo e litossolo.
OBJETO	Categoria de dados do modelo Objeto refere-se à especialização de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades etc.
CADASTRAL	Categoria do modelo Cadastral refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterà o mapa com as representações dos municípios.
REDE	Categoria do modelo Rede refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que se deseja representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica, esgoto, água, drenagem, telefonia etc.
NÃO-ESPACIAL	Categoria do modelo Não-Espacial refere-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

Com base nestes pressupostos foi elaborado o Banco de Dados do Município de Itirapina com projeção UTM / Córrego Alegre delimitado pelas coordenadas geográficas:

- Sul 22 30 00, Oeste 48 00 00 (canto inferior) e ,
- Sul 22 05 29, Oeste 46 37 00 (canto superior);
- Zona UTM - 23
- Meridiano Central : Oeste 45^o
- Datum – Córrego Alegre

Dentro do Spring foi criado o Projeto da Pesquisa com base nas características geográficas mencionadas acima, também foi definido diversas Categorias de diferentes Modelos de Dados, nestas categorias estão contidos os diversos Planos de Informação (PI), também conhecidos como layers, coverages ou níveis temáticos em outros softwares de geoprocessamento. Cada PI pertence a uma única categoria, as categorias e os Modelos criados estão na **Quadro 5**, a seguir.

Quadro 5 - Descrição dos Modelos de Dados e Categorias.

Categoria	Modelo
Altimetria	Numérico
Geologia	Temático
Pedologia	Temático
Hidrografia	Cadastral
Limite	Temático
Imagem	Imagem

Para a aplicação das duas técnicas de Inferência Geográficas estudadas nesta pesquisa foram utilizados os seguintes Planos de Informação: Pedologia, Geologia, Declividades e Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

7.3. Procedimentos - Planos de Informação

Para a realização do procedimento de entrada dos dados no SIG utilizado, precedeu-se do processo de digitalização dos mapas analógicos.

Neste processo foi utilizado um programa de digitalização semi-automática, o R2V , onde os vetores adquiridos formam exportados no formato “DXF” (Auto CAD) e importados no *software Spring*. Nele foi feita a edição vetorial de todos os mapas e os mosaicos representativos da área de estudo, quando necessário, resultando em uma superfície continua em todos os PI's.

Para a etapa inicial (digitalização dos mapas analógicos) foi escolhido o programa de vetorização R2V, por ser eficiente na digitalização vetorial e ter uma interface amigável.

Para o complemento do trabalho foi utilizado no software Spring, pois ele tem eficiência no ambiente raster (matriz) e ainda permite a entrada de dados vetoriais, portanto permite a manipulação de dados raster e vetoriais.

Como a pesquisa tem etapas de aplicação de técnicas de inferências geográficas – que incluem processamento de álgebra de mapas com origem em mapas temáticos (vetoriais) e seus produtos expressos em modelos numéricos (raster) - a utilização do Spring foi adequada suportando esse tipo de operação.

Podemos Sintetizar que este trabalho utilizou o R2V para o processo de digitalização de mapas e no Spring à elaboração do banco geográfico.

7.2. Elaboração do Banco de Dados Geográfico e Modelagem

O primeiro passo para a utilização de um SIG é a criação e modelagem dos dados geográficos. Essa modelagem é essencialmente a criação de categorias, que especificamente no Spring podem ser dos tipos: Imagem, Numérico, Temático, Cadastral, Rede e Tabela Não-espacial.

Essas categorias determinam os tipos de dados e as possíveis manipulações. No **Quando 4** são apresentadas as características de cada Modelo.

Quando 4 - Estrutura de Modelagem de Dados no Sistema Spring

Modelo	Característica
IMAGEM	Categoria do modelo Imagem refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial. Exemplos: imagens TM/LANDSAT, SPOT, NOAA, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais através de "scanners" etc.
NUMÉRICO	Categoria do modelo Numérico refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Exemplos: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície etc.
TEMÁTICO	Categoria do modelo Temático refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação etc.
CLASSES	Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as Classes Temáticas, as quais são especializações da categoria. Tomando-se como exemplo uma categoria tipos de solo, cada um dos diferentes tipos de solos constituirá as classes. Por exemplo, latossolo roxo, argissolo e litossolo.
OBJETO	Categoria de dados do modelo Objeto refere-se à especialização de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades etc.
CADASTRAL	Categoria do modelo Cadastral refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterà o mapa com as representações dos municípios.
REDE	Categoria do modelo Rede refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que se deseja representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica, esgoto, água, drenagem, telefonia etc.
NÃO-ESPACIAL	Categoria do modelo Não-Espacial refere-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

Com base nestes pressupostos foi elaborado o Banco de Dados do Município de Itirapina com projeção UTM / Córrego Alegre delimitado pelas coordenadas geográficas:

- Sul 22 30 00, Oeste 48 00 00 (canto inferior) e ,
- Sul 22 05 29, Oeste 46 37 00 (canto superior);
- Zona UTM - 23
- Meridiano Central : Oeste 45^o
- Datum – Córrego Alegre

Dentro do Spring foi criado o Projeto da Pesquisa com base nas características geográficas mencionadas acima, também foi definido diversas Categorias de diferentes Modelos de Dados, nestas categorias estão contidos os diversos Planos de Informação (PI), também conhecidos como layers, coverages ou níveis temáticos em outros softwares de geoprocessamento. Cada PI pertence a uma única categoria, as categorias e os Modelos criados estão na **Quadro 5**, a seguir.

Quadro 5 - Descrição dos Modelos de Dados e Categorias.

Categoria	Modelo
Altimetria	Numérico
Geologia	Temático
Pedologia	Temático
Hidrografia	Cadastral
Limite	Temático
Imagem	Imagem

Para a aplicação das duas técnicas de Inferência Geográficas estudadas nesta pesquisa foram utilizados os seguintes Planos de Informação: Pedologia, Geologia, Declividades e Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

7.3. Procedimentos - Planos de Informação

Para a realização do procedimento de entrada dos dados no SIG utilizado, precedeu-se do processo de digitalização dos mapas analógicos.

Neste processo foi utilizado um programa de digitalização semi-automática, o R2V, onde os vetores adquiridos foram exportados no formato "DXF" (Auto CAD) e importados no *software Spring*. Nele foi feita a edição vetorial de todos os mapas e os mosaicos representativos da área de estudo, quando necessário, resultando em uma superfície contínua em todos os PI's.

7.3.1. Plano de Informação Declividades

Para a elaboração do mapa de declividades foram selecionados os mapas topográficos, na forma analógica escala 1:50.000 representativos da área do município. Esses mapas foram submetidos a um processo de digitalização com isolinhas de 20 metros e exportados do R2V, com topologia X,Y,Z (coordenadas geográficas e cotas).

No Spring foi criado um único Plano de Informação a partir, de um mosaico de quatro arquivos (superfície discreta), cada um desses arquivos é referente a cada carta topográfica digitalizada, tendo como resultado uma superfície contínua e assim, esse Plano Informação. - Cotas Topográficas (**figura 28**) passa a representar um único mapa topográfico digital abrangendo a área total, condição indispensável para a execução dos procedimentos seguintes.

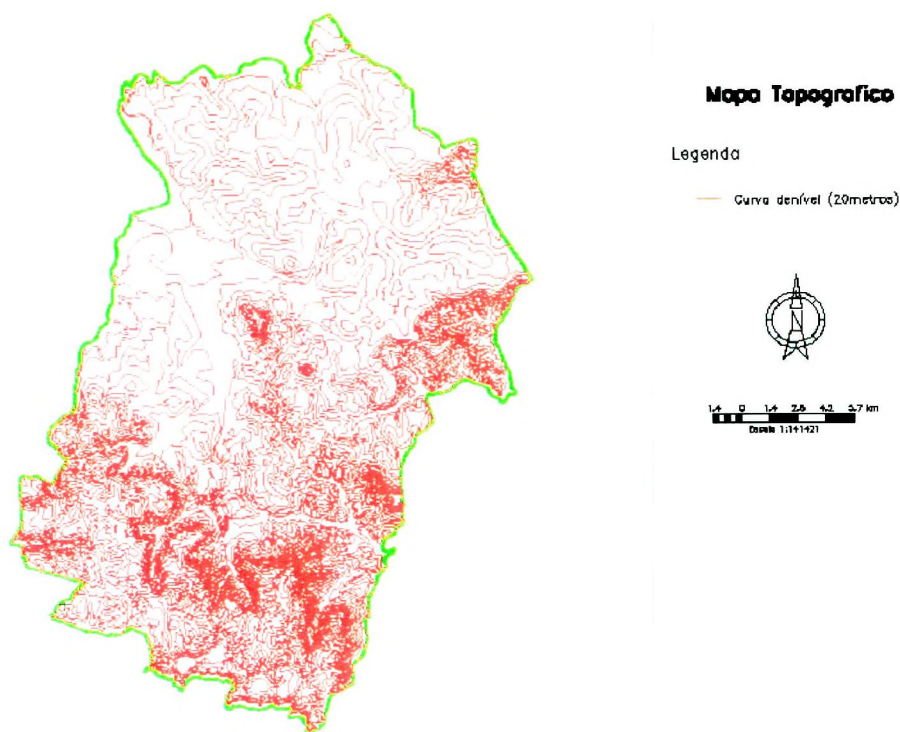


Figura 28 - Mapa Topográfico do Município de Itirapina (Superfície Contínua)

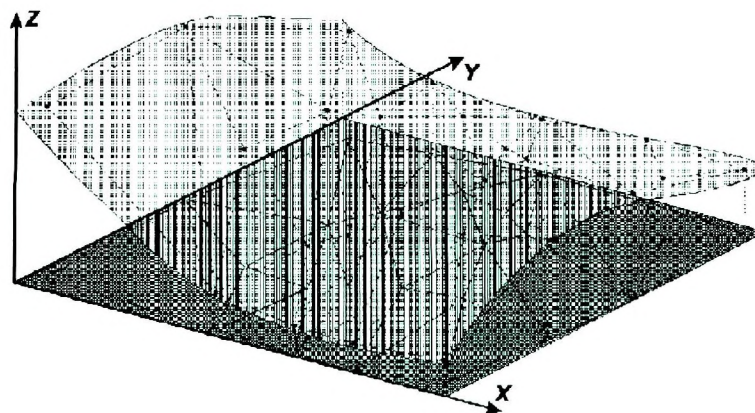


Figura 29 - Configuração de uma Grade Irregular Triangular

Desta forma procedeu-se para a elaboração da MNT do Município de Itirapina pela geração da grade triangular, ou Triangulated Irregular Network (TIN), como também é conhecida, o que é apresentado na. **(figura 30)**.



Figura 30 - Grade Irregular Triangular do Município de Itirapina.

A partir da elaboração do modelo digital do terreno é possível gerar um produto significativo para a modelagem ambiental, o Mapa de Declividades. Para Burrough, (1996), a elaboração de Mapa de Declividade a partir de um Modelo Número está entre outras aplicações do MDT.

O Mapa de Declividades ou Carta Clinográfica é muito utilizado em diferentes pesquisas, no Sistema Spring – as Declividades são representadas a partir, da definição no Modelo Numérico dos intervalos (fatias) das cotas, em percentagens ou graus do Modelo Digital do Terreno (MDT), com a finalidade gerar imagem temática, assim, cada fatia da imagem é associada a um intervalo de cotas, produzindo desta forma a classificação (dai a expressão fatiamento) da superfície analisada. Assim, no estabelecimento dos graus de declividades adotou-se a proposta de De Biase, (1992) para o Mapa de Declividades do Município de Itirapina. (**Figura 31**).

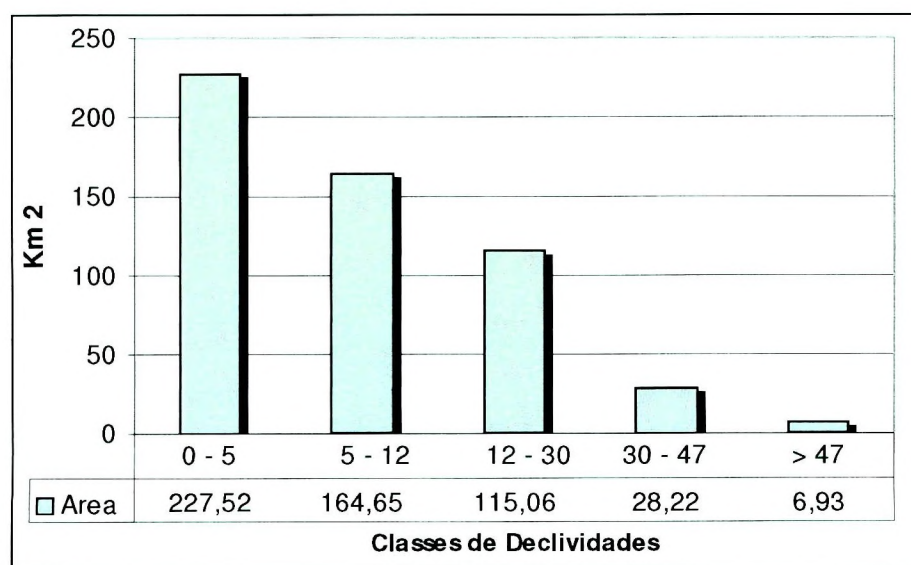
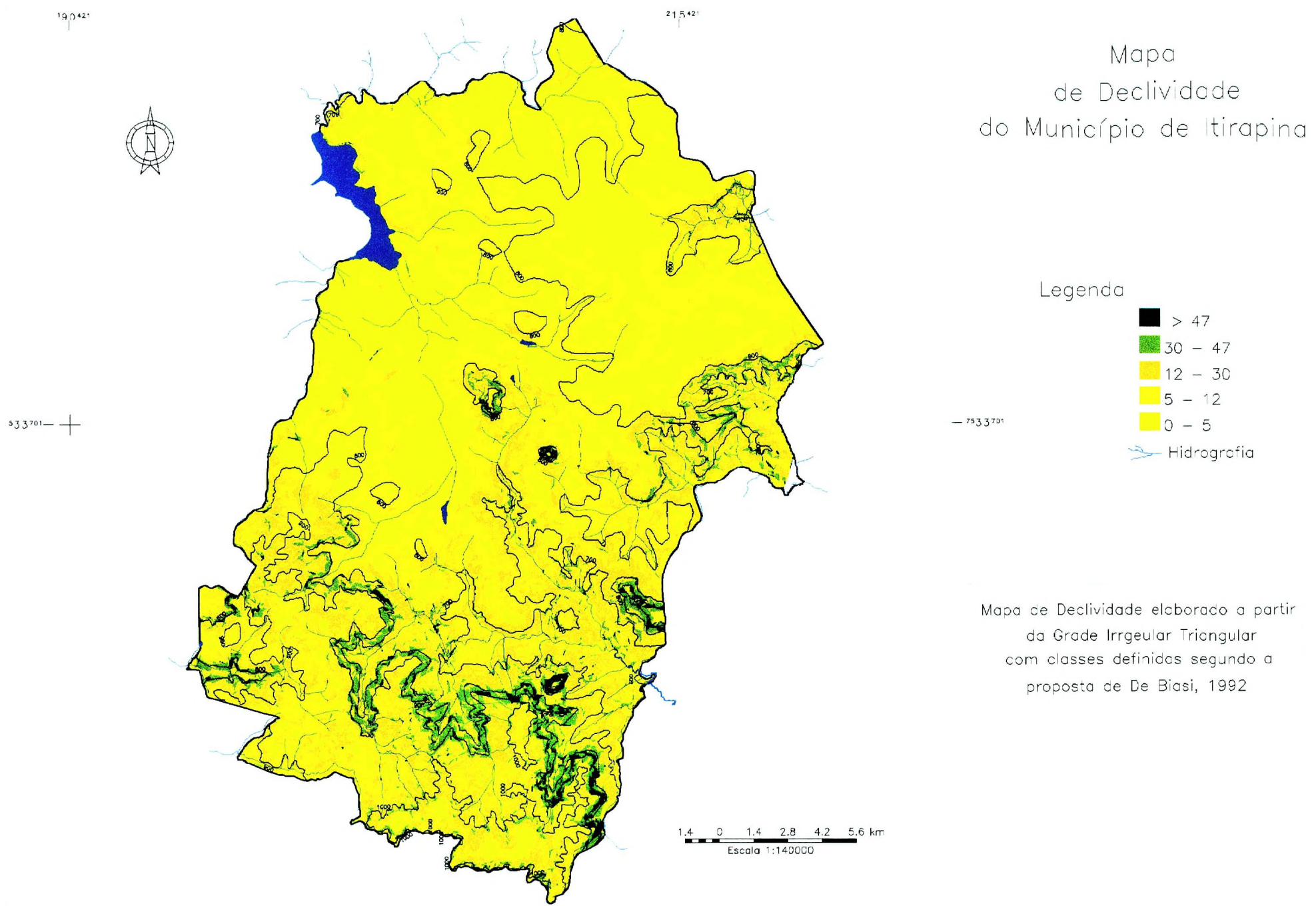


Gráfico 01 – Distribuição das Classes do Plano de Informação Declividades

Podemos observar no Gráfico 01 que 72% da área do município estão compreendidos no intervalo de 0° a 12°, inferindo-se que a maior a maior parte de território está em baixas declividades, principalmente na depressão periférica e ainda podemos destacar que 6% da área estão incluídos no intervalo acima de 30°, em geral referentes as cuestas.



Mapa
de Declividade
do Município de Itirapina

Legenda

- > 47
- 30 - 47
- 12 - 30
- 5 - 12
- 0 - 5
- Hidrografia

Mapa de Declividade elaborado a partir da Grade Irregular Triangular com classes definidas segundo a proposta de De Biasi, 1992

1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 km
Escala 1:140000

Figura 31 – Mapa de Declividade

7.3.2. Plano de Informação Pedologia

O Mapa Pedológico foi digitalizado no R2v e enviado para o *spring* para ser processado a edição vetorial e construído o banco de dados geográfico contendo os tipos de solos do município de Itirapina. (figura 32).

Esse banco geográfico abrange oito diferentes classes de solos que formam extraídas do mapa analógico confeccionado pelo Convênio Embrapa Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de SP e Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária, Instituto Agrônomo Divisão de Solos Seção de Pedologia.

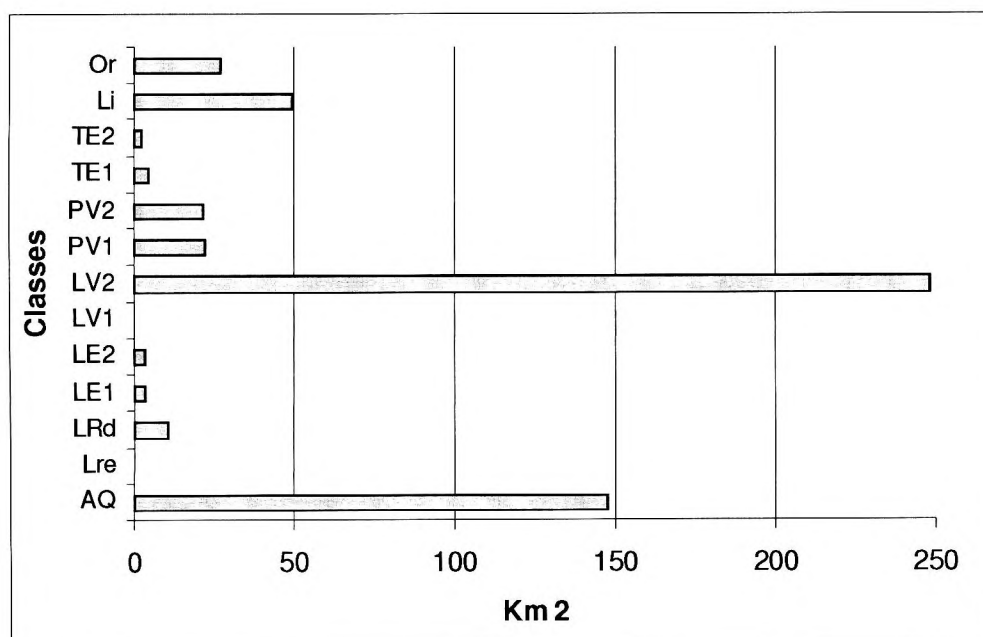


Gráfico 02 – Distribuição das Classes do Plano de Informação Pedologia

No Gráfico observamos o predomínio dos latossolos vermelho-amarelos (250 km² na depressão periférica e planalto), e neossolo quartzarênico (150 Km², principalmente na depressão periférica), a incidência desses dois diferentes tipos solos na depressão estão ligados a substrato rochoso.

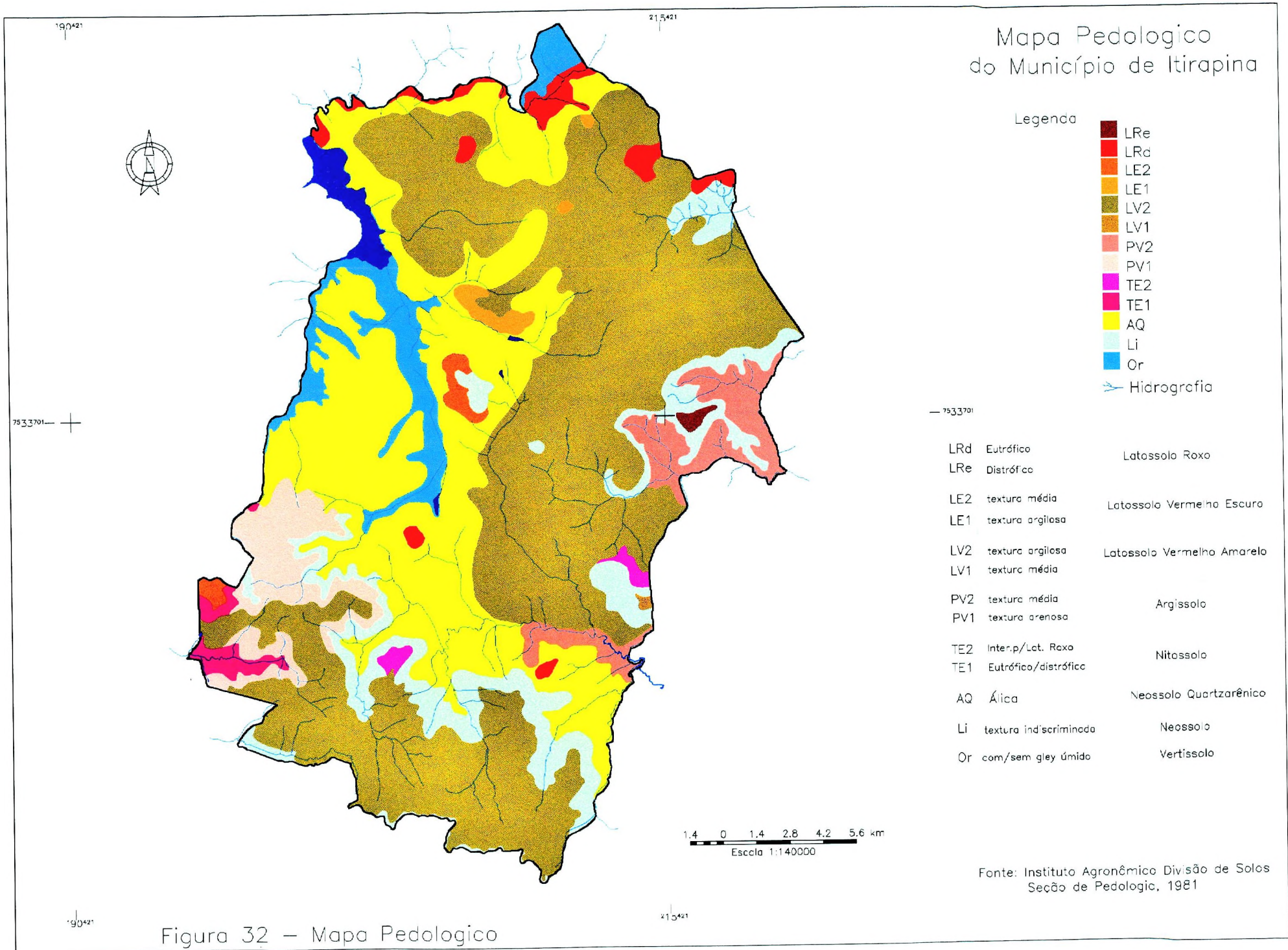


Figura 32 – Mapa Pedológico

7.3.3. Plano de Informação Geologia

Neste Plano de Informação após digitalização no R2v e a importação no Sistema SPRING procedeu-se a construção do Banco de Dados Geográfico com base nas informações litológicas da área - (figura 33) - que é composto de 4 classes e a nomenclatura adotada é a do Instituto Geológico. **Quadro 6.**

Quadro 6 - Classes Geológicas

Nomenclatura	Descrição
Jbp	arenitos, siltitos e folhelhos - Formação Botucatu
Ksg	basaltos e diabásicos - Formação Serra Geral
Kb	arenitos, siltitos e folhelhos
H	areias, argilas e cascalhos

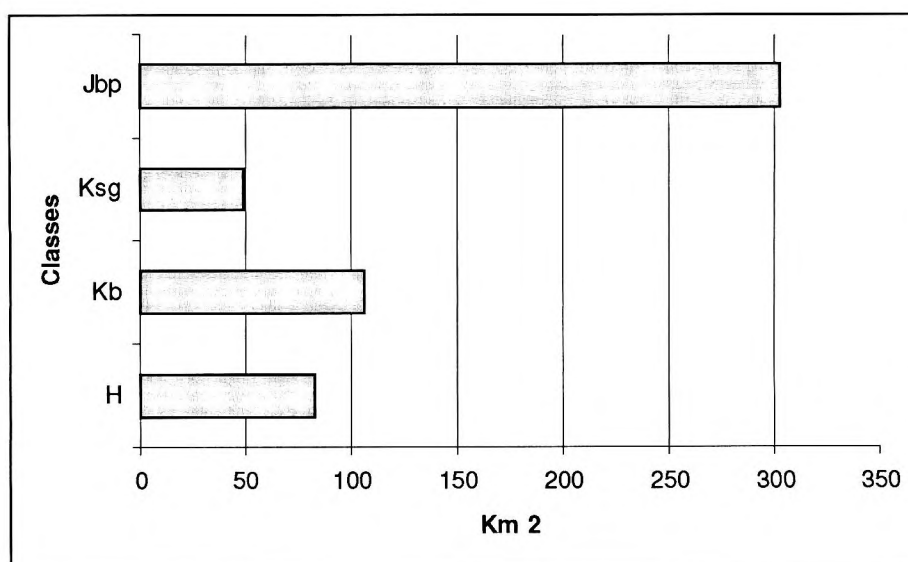


Gráfico 03 - Distribuição das Classes do Plano de Informação Geologia

Observamos que entre as classes litológicas do Município de Itirapina há predomínio da Formação de Botucatu (Jbp) com aproximadamente 300 Km² compreendendo as áreas da depressão periférica ,e as outras classes (Ksg, Kb e H) estão compreendidas entre 50 a 100 Km², onde estão os arenitos (Planalto) e os basaltos (Cuesta),

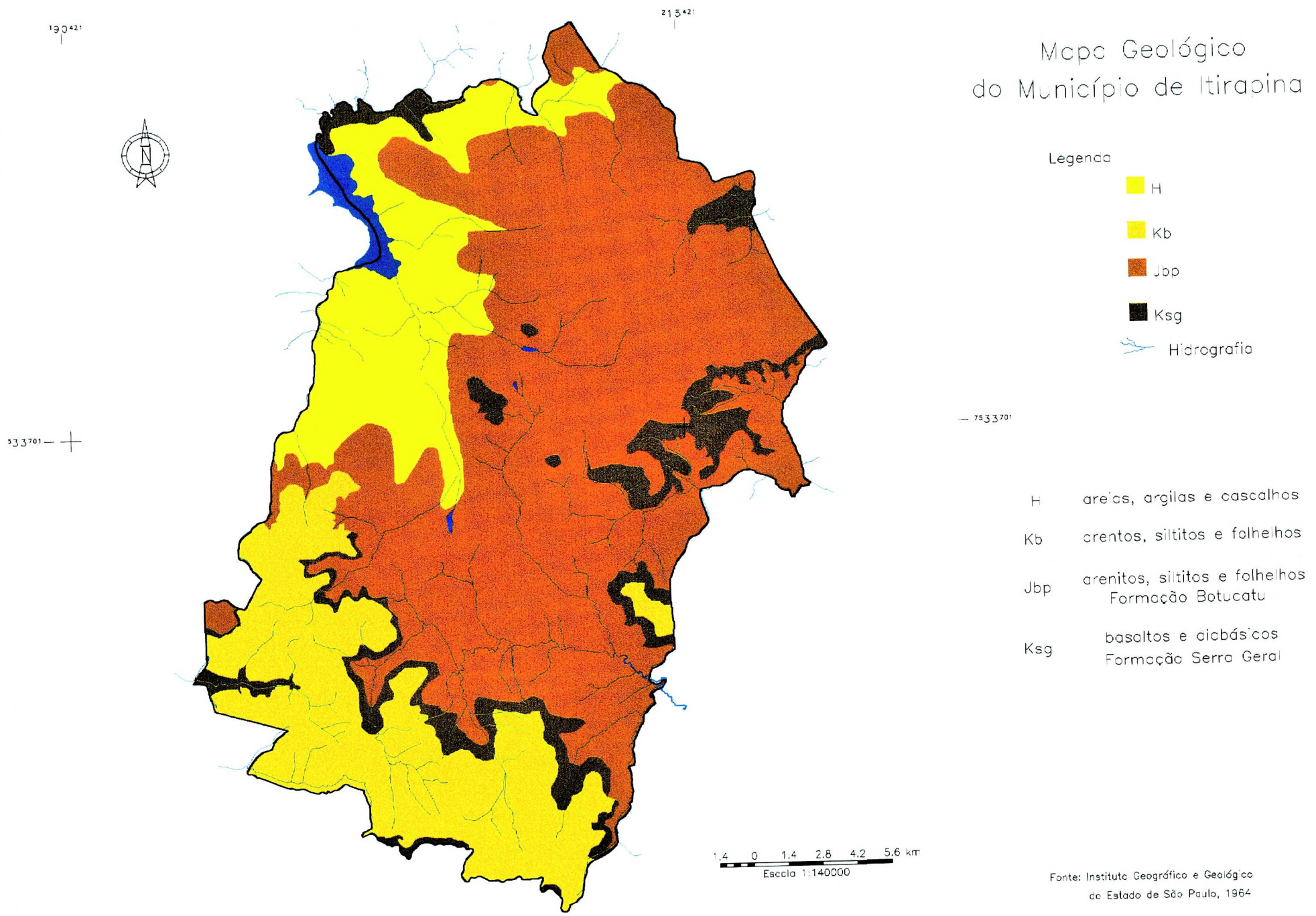


Figura 33 – Mapa Geológico

7.3.4. Plano de Informação Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O mapa de uso da terra e cobertura vegetação foi confeccionado com as técnicas do sensoriamento remoto (pressupostos teóricos que foram discutidos no capítulo I). A imagem de satélite utilizada foi do ETM+ Landsat 7, bandas ETM/3, ETM/4 e ETM/5, do dia 23/20/ 2001 em órbita 220 ponto 073.

Estas imagens foram importadas para o Spring, onde se processou a correção geométrica e a elaboração de uma imagem sintética, cores "naturais", com as bandas 3 (filtro azul), 4 (filtro verde) e 5 (filtro vermelho), para compor o chamado (RGB).

Posteriormente, efetuou-se a segmentação da imagem - aram-se polígonos em função da similaridade dos valores e área - para a identificação desses polígonos foi utilizado o método de Classificação Supervisionada, onde a escolha das amostras e das classes foi feita em função do conhecimento da área de estudo. (Levantamento em campo).

Quadro 7 - Categorias classificadas no PI Uso da Terra e Cobertura Vegetal

Tipo	Descrição
Capoeira	Formações arbustivas espaçadas
Cultivos de Ciclo Curto	Cana e Milho
Cultivos de Ciclo Longo	Café e Laranja
Mata	Naturais e galeria
Pasto	Com baixo pisoteio
Reflorestamento	Eucaliptos / Pinos
Solo Exposto	Solo aparentemente sem cobertura
Urbano	Cidade e pequenos núcleos populacionais

Após a classificação supervisionada foi feita a edição poligonal, (“limpeza” dos polígonos irrelevantes gerados na classificação supervisionada, apoiando-se na imagem sintética), iniciando-se a seguir, nova observação em campo buscando melhor elucidar as dúvidas e inconsistências da classificação para o mapeamento.

Munidos de um equipamento de *GPS* e um computador portátil (*laptop*), foram calculadas as coordenadas de 50 pontos. O posicionamento desses pontos foi feito através de observações do mapa classificado. Neles registrou-se a verdade terrestre (*Field Check*) para ser comparada com a Classificação Supervisionada, possibilitando o refinamento classificatório do mapa de uso da terra e cobertura vegetal. **Figura 34.**

O **Gráfico 04** aponta a abrangência de cada classe em função de sua área em quilômetros quadrados (histograma).

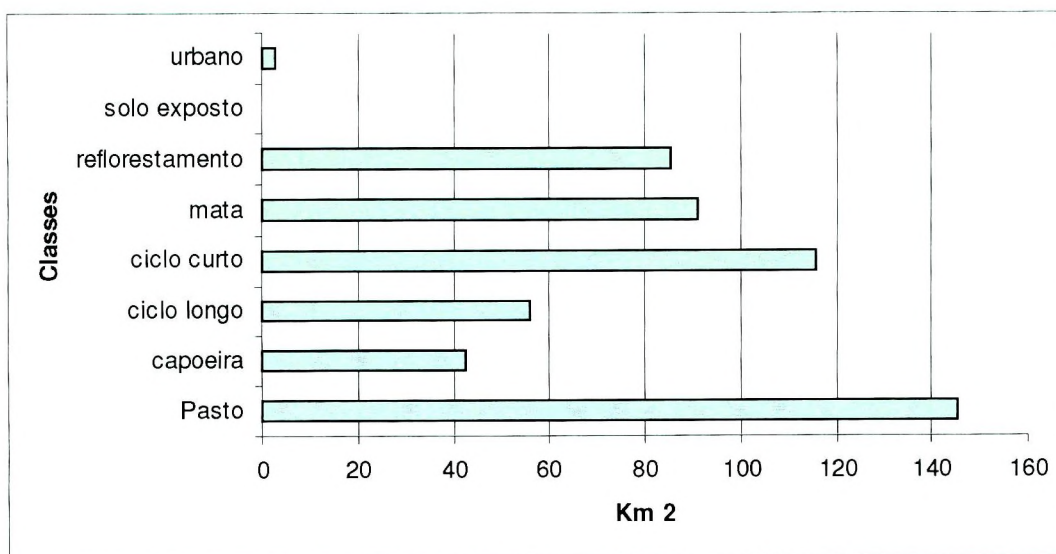


Gráfico 04 – Distribuição da Classificação do Plano de Informação Uso da terra e Cobertura Vegetal

A classe Pasto aparece com a maior extensão territorial, aproximadamente 145 km² (27%), e provavelmente está relacionada a retirada e substituição da cobertura vegetal primária.

Em seguida, notamos em menor quantidade a cultura do Tipo Ciclo Curto (cana-de-açúcar, milho) em torno de 115 Km² (21%).

A classe Mata tem aproximadamente 91 km² (17%), essas áreas ocupam principalmente as cuestas basálticas - em altas declividades - e ao longo dos cursos dos rios.

Destacamos a categoria reflorestamento com 85 km² (16%), essa está associada a presença da indústria do papel e celulose responsável pela expressiva área de mata plantada.

Segundo, Penteadó (1968) a cobertura vegetal primitiva das matas foi quase totalmente retirada bem como o revestimento natural dos cerrados das regiões mais elevadas do Município de Itirapina.

8. A Aplicação do Sistema de Informação Geográfica no Diagnóstico Ambiental do Município de Itirapina

Aqui, apresentamos a aplicação das duas técnicas de Inferência Geográficas (Booleano Ponderativo e o Processo Analítico Hierárquico), suas concepções teóricas, práticas e os resultados quando aplicados ao objetivo dessa pesquisa - à elaboração do diagnóstico ambiental do município de Itirapina classificando áreas em estabilidade e instabilidade à erosão.

Para essa elaboração do diagnóstico ambiental é preciso concatenar todo um conjunto de variáveis levantadas em uma direção de convergência, sendo que esse processo deve acontecer dentro de um ambiente que possibilite a análise desses dados. Portanto, podemos definir o diagnóstico ambiental como uma visão integrada das condições físicas, bióticas e sócio-econômicas vigentes em um determinado espaço-tempo. (CÂMARA, 2001)

Essas condições são percebidas, em cada ocasião, como instâncias pertencentes a um conjunto estruturado e dinâmico de objetos e atributos que é o ambiente. Neste quadro integrado convergem fatores causais e aleatórios que serão registrados como dados, associados a uma situação ambiental de estudo, assim elaborando um modelo. Este conjunto de variáveis poder ser responsabilizado pela ocorrência da situação, segundo a visão do pesquisador. Xavier da Silva (2001).

Neste trabalho - a proposta de mapeamento de um modelo de diagnóstico ambiental para o município de Itirapina - serão consideradas as variáveis de estabilidade e instabilidade ambiental à processos de erosão hídrica como os indicadores de áreas em equilíbrio ambiental.

A erosão causada pela chuva inicia-se pela ação do impacto das gotas d'água na superfície do terreno, sobretudo quando desprotegido de vegetação, promovendo o desprendimento de partículas constituintes do solo. Havendo condições favoráveis ao escoamento superficial das águas, pode ocorrer o transporte das partículas liberadas do solo por escoamento superficial laminar ou difuso e concentrado.

A remoção de uma partícula da superfície não é função apenas das forças hidrodinâmicas sobre ela exercidas, mas também de uma série de outros fatores (forma, tamanho, rugosidade e o contato com outras partículas vizinhas) existindo força crítica de tração, bem como velocidade crítica do fluxo para que a partícula se movimente ou se deposite (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI,1985).

Esta pesquisa não pretende aprofundar a discussão sobre processos erosivos nem elaborar uma Carta de Suscetibilidade à Erosão ou Risco à Erosão, haja visto que existe uma vasta bibliográfica que trata desse assunto, onde se aplicam de diversas formas técnicas para obtenção de tais produtos cartográficos.

A intenção neste trabalho é usar a erosão como um fator de convergência para a elaboração do modelo numérico de classes, que subsidiará a aplicação das técnicas de inferências geográficas. Assim quanto da atribuição do *ranking* às classes de cada tema, a erosão, em especial a erosão hídrica, é o fator que deve ser considerado como o determinante no estabelecimento de categorias de fragilidade ambiental (*ranking*).

8.1. Inferências Geográficas

Na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas.

A combinação desses dados multi-fonte permitirá uma redução na ambigüidade das interpretações que normalmente são obtidas através da análise individual dos dados, Câmara, (2001).

Em linhas gerais, as inferências geográficas (também conhecidas inferências espaciais), constituem os diversos métodos utilizados para a integração dos dados em um ambiente SIG.

Esses métodos possibilitam a geração de novos mapas, ou seja, o resultado do processo de inferência geográfica que elabora novos planos de informação em diferentes formatos, como por exemplo, o método Booleano gera dados em formato Temático sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (favoráveis e não favoráveis). Já outros métodos como a Média Ponderada, *Fuzzy*, *Bayesiano* e inferência por Redes Neurais geram dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica, Câmara, (2001).

Esta pesquisa aplica duas técnicas de Inferência Geográfica a fim de produzir novos mapas, a partir de dados coletados e introduzidos no sistema de Informação Geográfica – SPRING.

O método Booleano Ponderativo - gera dados na forma numérica e tem sua potencialidade expressa também nesta mesma forma e pode ser representado em polígonos.

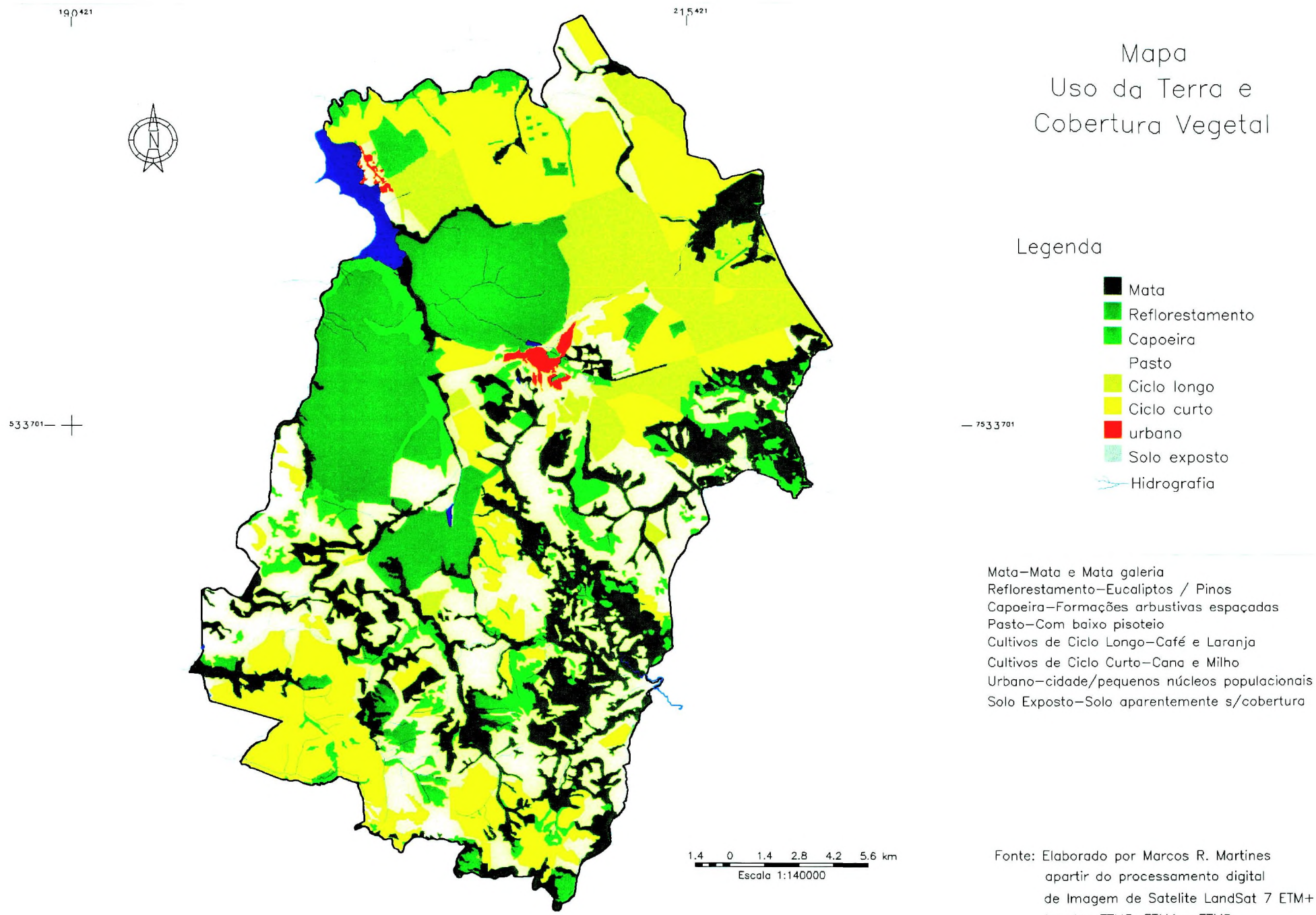
O Processo Analítico Hierárquico (AHP) - aplica o conceito de importância relativa dos dados do conjunto, diferenciando-se dos outros processos de inferência geográfica, pois parte da idéia do conceito de hierarquização.

Destacamos que antes aplicar as técnicas de Booleano Ponderativo e AHP é necessário reescalonar os dados (Planos de Informação) para um intervalo numérico comum, esse processo é conhecido como padronização. Exemplo, o Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetação é um Mapa Temático elaborado com diferentes classes (qualitativo), já o Mapa de Declividades está apresentado em porcentagens (quantitativo), daí a necessidade explícita da padronização dos dados para que possibilite sua interação.

8.2. Padronização dos Mapas Temáticos e Álgebra de Mapas

Para a aplicação das duas técnicas de inferências geográficas é necessária a transformação de todos os Planos de Informação Vetoriais em Planos de Informação Matriciais, assim será possível associar as células das matrizes valores, o que possibilita a efetuação de álgebra entre os mapas, em geral operações aritméticas, assim integrando-os.

Tomlinson (1990), definiu o termo “álgebra de mapas” como o conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas, e ainda caracterizou o processo de análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa.



Mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal

Legenda

- Mata
- Reflorestamento
- Capoeira
- Pasto
- Ciclo longo
- Ciclo curto
- urbano
- Solo exposto
- Hidrografia

Mata—Mata e Mata galeria
 Reflorestamento—Eucaliptos / Pinos
 Capoeira—Formações arbustivas espaçadas
 Pasto—Com baixo pisoteio
 Cultivos de Ciclo Longo—Café e Laranja
 Cultivos de Ciclo Curto—Cana e Milho
 Urbano—cidade/pequenos núcleos populacionais
 Solo Exposto—Solo aparentemente s/cobertura

Fonte: Elaborado por Marcos R. Martines
 apartir do processamento digital
 de Imagem de Satelite LandSat 7 ETM+
 bandas ETM3, ETM4 e ETM5
 orbita 220/73 de 23/02/2001

Figura 34 – Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O **Quadro 8** mostra a padronização em função do tipo de cada mapa e a migração para o modelo matricial que os Planos de Informação foram submetidos.

Quadro 8 - Padronização dos Mapas para o Modelo Numérico

Nome	Tipo	Padronização
Geologia	Vetor	Numérico
Pedologia	Vetor	Numérico
Uso da Terra/Cobertura Vegetal	Vetor	Numérico
Declividades	Numérico	Numérico

Após a padronização dos Planos de Informação é preciso fazer a associação de valores para cada classe de tema. A **figura 35** demonstra esse processo de padronização, no exemplo a definição numérica para classe é aplicada a um mapa de solos, onde os valores proposto para as classes são: Le = 0.60, Li = 0.20, Ls = 0.35, Aq = 0.10.

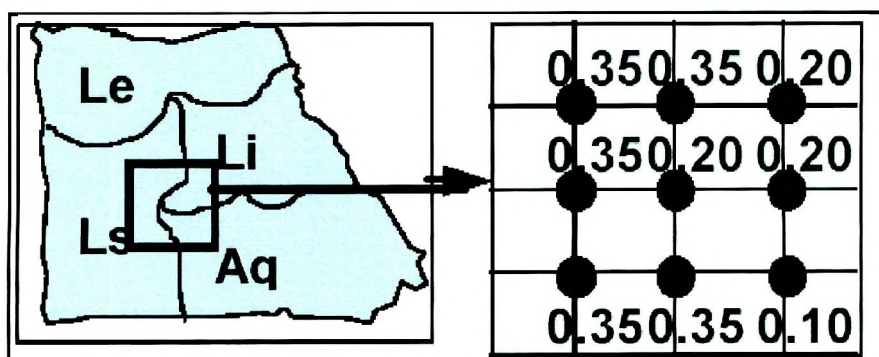


Figura 35 - Exemplo de Padronização de Mapa Temático (Vetor) para Mapa Numérico (Matriz)

Uma das questões centrais na aplicação da álgebra de mapas é a avaliação a ser realizada quando da definição das classes temáticas

(qualitativos) em valores (quantitativos); é preciso estabelecer um valor adequado para cada dado qualitativo em função do objetivo que pretende ser alcançado; essa avaliação é importante, pois implica diretamente nos resultados finais e nas possíveis tomadas de decisões. Neste sentido a participação direta do pesquisador na padronização do modelo é fundamental para a obtenção de um bom produto que irá expressar o fenômeno estudado.

Nesta pesquisa adotou-se uma metodologia empírica de avaliação, consultando especialistas para a determinação de um *ranking* (valor numérico ordenado) a ser atribuído as variáveis que compõe os Mapas Temáticos - esta atribuição numérica foi norteada para o estabelecimento do panorama ambiental do município de Itirapina, apontando áreas em estabilidade e instabilidade à erosão.

Assim, foram distribuídos questionários entre diversos professores, selecionados (preferencialmente os que trabalham com linhas de pesquisas direcionadas a área ambiental).

Participaram dessa pesquisa professores da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade Estadual Paulista (UNESP) Rio Claro e Presidente Prudente, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade Federal do Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os professores participantes em número de 15 foram considerados como universo amostral das opiniões; estes professores preencheram um questionário com tabelas as quais continha as variáveis de cada um dos temas selecionados; cada avaliador julgou as variáveis em função do objetivo proposto e atribuiu um *ranking* (valor numérico ordenado) no intervalo

estabelecido de 1 a 5 sendo o valor 1 = variável mais estável; e o valor 5 = variável mais instável.

De acordo com o recebimento dos questionários, os *ranking* foram alocados em tabela única e após a inclusão das respostas se procedeu a média aritmética de cada classe por tema.

As Tabelas abaixo demonstram os resultados consolidados para os Temas Geologia na **Tabela 03**, Uso da Terra e Cobertura Vegetal na **Tabela 04**, Declividades na **Tabela 05** e Pedologia na **Tabela 06**.

Tabela 03 - Valores consolidados para o tema geologia

Geologia		
Sigla	Descrição	Média
H	Areias, Argilas Cascalhos	5,00
kb	Fm. Itaquerí (arenitos e arenitos conglomeráticos)	3,63
Ksg	Fm. Serra Geral intrusivas basálticas	1,28
Jbp	Fm. Botucatu (arenitos, siltitos e folhelhos)	3,75

Tabela 04 – Valores consolidados para tema uso da terra e cobertura vegetal

Uso da terra/Cobertura Vegetação		
Tipo	Descrição	Média
Mata	Naturais e galeria	1,00
Reflorestamento	Eucaliptos / Pinos	2,21
Capoeira	Formações arbustivas espaçadas	2,29
Pasto	Com baixo pisoteio	3,29
Solo Exposto	Sem cobertura	5,00
Cultivos de Ciclo Longo	Café, Laranja	3,29
Cultivos de Ciclo Curto	Cana e Milho	4,43

Tabela 05 – Valores consolidados para o tema declividade

Declividade	
Porcentagem	Média
0 - 6	1,11
06 - 12	2,11
12 - 20	3,22
20 - 30	4,22
> 30	5,00

Tabela 06 - Valores consolidados para o tema solos

Solos			
Sigla	Classe	Descrição	Media
LRe	Latossolo Roxo	Eutrófico, A moderado.	1,67
LRd		Distrófico, A moderado.	2,08
LE-1	Latossolo Vermelho Escuro	Álico, A moderado, textura argilosa.	1,75
LE-2		Álico, A moderado, textura média.	2,33
LV-1	Latossolo Vermelho Amarelo	Álico, A moderado, textura média.	3,00
LV-2		Álico, A proeminente, textura muito argilosa ou argilosa.	2,33
PV-1	Argissolo Podzólico (Vermelho Amarelo)	Abruptico, Álico, A moderado, textura arenosa / média.	3,83
PV-2		Distrófico, A moderado, Textura média ou média / argilosa.	3,17
TE-1	Nitossolo (Terra Roxa Estruturada)	Eutrófico ou distrófico, A moderado.	1,33
TE-2		Eutrófica ou distrófica Intermediário para Latossolo Roxo, A moderado.	1,33
AQ	Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosas Profundas)	Álica, A moderado.	5,00
Li	Neossolo (Solos Litólicos)	Eutróficos e distróficos, A moderado, textura indiscriminada.	4,17
Or	Vertissolo (Solo Hidromórfico)	Solos orgânicos, com ou sem gley úmido.	2,58

8.3. O Modelo Booleano

A combinação de mapas convergentes tem sido modelada ao longo do tempo pela superposição de mapas convencionais, as dificuldades de se estabelecer uma análise sobre vários mapas e localizar áreas de ocorrência de coincidências é bem óbvia. O mapeamento digital possibilita a execução de operações em múltiplos mapas com relativa facilidade.

Uma das técnicas mais utilizadas é a que se determinou com *Lógica Booleana*; ela permite a extração de diversas informações mapeadas. Estes operadores são regras algébricas com base nos atributos de pertinência espacial das entidades representadas na base de dados, Xavier da Silva (2001).

O Modelo Booleano envolve combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais. Cada mapa utilizado como uma condição, pode ser entendido como um plano de informação, uma evidência. Os vários planos de informação são combinados para efetuar uma proposição ou avaliação. Cada localização é então testada, para determinar se as evidências nesse ponto satisfazem ou não as regras definidas pela hipótese. O resultado é expresso de forma binária, "0" (hipótese não satisfeita) e "1" (hipótese satisfeita), não sendo possível a condição talvez, Câmara, (2001).

A álgebra booleana utiliza os ponderadores lógicos "E", "OU", "Exclusivo ou (XOR)" e "NÃO" para se determinar uma hipótese que satisfaz ou não uma particular condição. Para melhor entendimento, imagine cada atributo como um conjunto (**figura 36**).

O operador "E" retorna a interseção entre dois ou mais conjuntos, ou seja, as entidades que pertencem tanto ao conjunto "A" e "B". O operador "OU" retorna a união dos conjuntos, que são entidades que pertencem tanto ao conjunto "A" como ao "B". O "XOR" recupera as entidades que pertencem a um

conjunto e ao outro, mas não aos dois conjuntamente. E o “NÃO” é o operador da diferença, identificando as entidades que pertencem a um conjunto “A” mas não ao “B”.

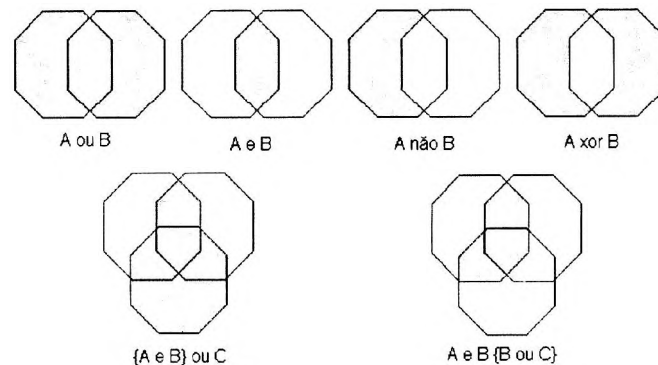


Figura 36 - Diagrama de *Venn* mostrando os resultados da aplicação de operadores de *lógica booleana* para dois ou mais conjuntos. A cor cinza é a hipótese verdadeira

Fonte: Adaptado de Burrough 1986

Portanto, o Modelo Booleano é baseado em conhecimento, dispondo de um conjunto de informações de entrada e uma técnica que permite descobrir localizações ou zonas de satisfação a partir de um conjunto de critérios. Se o critério é definido segundo regras determinísticas, o modelo consiste em aplicar operadores de lógica booleana em um conjunto de dados (mapas) de entrada.

Como já foi dito, o dado de saída é um mapa binário onde cada ponto no mapa satisfaz ou não, as condições do modelo que pode ser descrito como uma técnica de co-ocorrência aditiva na qual os mapas binários são simplesmente sobrepostos, e as áreas de maior potencialidade à ocorrência de uma variável estudada são aquelas que apresentam o maior número de interseção de evidências favoráveis definidas pelo modelo proposto, Bonham-Carter, (1996).

Muitos pesquisadores utilizam a abordagem *Booleana* pela sua facilidade e simplicidade. Essa técnica a combinação lógica de mapas, dentro de um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica é diretamente análoga a sobreposição de “*overlayers*” de mapas em uma mesa de luz. As combinações Booleanas são abordagens práticas e de fácil aplicação.

8.4. Modelo Booleano Ponderativo (Weighted Linear Combination)

Em linhas gerais o modelo Booleano Ponderativo é uma técnica baseada na lógica Booleana de análise para multi-critérios - cada mapa de entrada é utilizado como uma evidência e as classes que compõe os temas recebem pesos (valor), segundo sua importância para o objetivo do estudo.

O procedimento técnico constituiu-se basicamente em selecionar os mapas (critérios) de interesse, e então, soma-los linearmente ponderando pelo número de temas, e como resultado teremos um mapa síntese que expressa um grau de importância relativa em função do *ranking* (valores numéricos) assumidos para cada classe.

Com os critérios estabelecidos (Geologia, Pedologia, Declividade e Uso da Terra e Cobertura Vegetal) aplicou-se o modelo Booleano Ponderativo com a álgebra expressa na **Figura 37**.

$$M_R = 0,25 (MU/CV) + 0,25 (MP) + 0,25 (MD) + 0,25 (MG)$$

M_R = Matriz Resultante
 MU/CV = Matriz Uso da Terra e Cobertura Vegetal
 MD = Matriz Declividade
 MG = Matriz Geologia

Figura 37 - Álgebra aplicada no Modelo Booleano Ponderativo

Estabelecida a fórmula algébrica do modelo, o próximo passo foi a elaboração do modelo numérico que possibilitasse a construção das matrizes dos temas, as quais serão utilizadas na álgebra. Este processo consiste na associação da média aritmética do *ranking* (pesos) dos julgamentos coletados junto aos questionários respondidos pelos professores para cada uma das classes dos temas. Após esse procedimento associativo foi geradas as matrizes temáticas e efetuada a soma linear. O processo de geração das matrizes temáticas e da soma linear foi elaborado em Legal (linguagem de programação do software Spring e está disponível no anexo I).

Como resultado da aplicação dessa técnica tivemos um modelo numérico sintético (**Figura 38**) apresentado em forma de mapa e expresso em níveis de cinza.

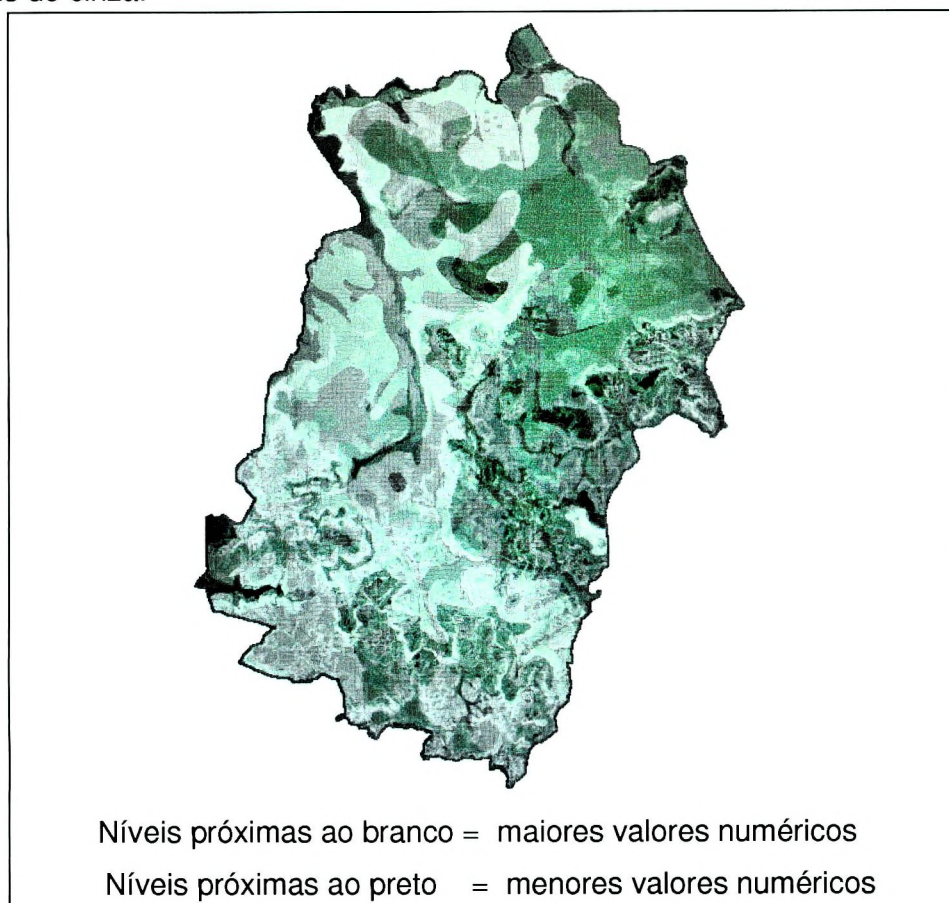


Figura 38 - Modelo Numérico resultado a aplicação da técnica Booleano Ponderativo).

8.5. Processo Hierárquico Analítico (Analytical Hierarchical Process- AHP)

O Processo Hierárquico Analítico é uma teoria 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 e uma avaliação de comparação pareada por importância relativa, preferências ou probabilidade, entre dois critérios com relação ao critério no nível superior.

Esse método foi proposto por Thomas Saaty, (1990), e é uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois (2) a dois (2) 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.

Com relação ao processo de consistência dos relacionamentos entre o julgamento dos pares, Thomas Saaty coloca que quanto mais uma pessoa conhece a situação, mais consistente espera-se que ela possa representá-la. Comparações pareadas permitam melhorar a consistência dos julgamentos no sentido de aumentar o número de informações disponíveis.

Podemos exemplificar o processo de elaboração de comparação pareada tomando o exemplo proposto por Saaty, (1990), desenvolvendo uma escala de prioridades em relação ao brilho ou à luminosidade para cadeiras em uma sala. O julgamento será obtido por um indivíduo que fica fora da sala e tenta elaborar um questionamento como: Qual está mais iluminada a cadeira B

ou a cadeira A? Ele dará como resposta um dos números escolhidos para as comparações descritas na tabela, e este julgamento entrara na matriz na posição (B, A).

Tabela de valores para julgamento:

- se A e B forem iguais em importância, colocar 1
- se A for um pouco mais importante do que B, colocar 3
- se A for muito mais importante que B, colocar 5
- se A for claramente ou muito fortemente mais importante do que B, colocar 7
- se A for absolutamente mais importante do que B, colocar 9
- se um elemento for igualmente importante quando comparado a ele mesmo, isso é, quando na matriz de posição (B,B), coloca-se 1.

Uma Matriz elaborada com esses princípios para elucidar nosso exemplo seria:

Iluminação	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1 / 5	1	4	6
C	1 / 6	1 / 4	1	4
D	1 / 7	1 / 6	1 / 4	1

Para o julgamento da consistência dos valores atribuídos a cada variável Saaty, (1990), destaca que, em geral, o que queremos dizer com consistência é que, quando nós temos uma quantidade básica de dados, todos os outros dados podem ser logicamente deduzidos deles.

Ao fazer a comparação pareada para relacionar em “n” atividades de modo que cada uma seja representada nos dados pelo menos uma vez, precisamos de “n-1” comparações pareadas. Assim, todos os outros julgamentos podem ser deduzidos usando o seguinte tipo de relação.

Para a consistência temos que se a atividade “A₁” é 3 vezes mais dominante do que a atividade “A₂”, e a atividade “A₁” é 6 vezes mais dominante que a atividade “A₃”, então “A₁ = 3(A₂)” e “A₁ = 6(A₃)”. Se os valores numéricos do julgamento na posição (2,3) forem diferentes de 2, então, a matriz será inconsistente. O processo matemático para o cálculo da consistência da matriz pareada será discutida mais a frente.

Após a verificação da consistência dos julgamentos, o próximo passo é a computação de um vetor de prioridade da matriz. Aplicando esse procedimento no nosso exemplo da iluminação das cadeiras, o vetor de prioridade é 0.51, 0.30, 0.15, 0.04, para o brilho relativo das cadeiras A, B, C e D.

Para se aplicar o Processo Analítico Hierárquico (AHP) procedemos a hierarquização dos critérios com base nos Julgamentos Empíricos aos professores especialistas participantes em função da importância de cada um para o objetivo a ser alcançado na construção do Mapeamento Ambiental do Município de Itirapina - com destaque às áreas de estabilidade e instabilidade ambiental à erosão.

Após as respostas serem tabuladas e calculadas procedeu-se a hierarquização dos Temas: Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal (mais determinante) para o objetivo desta pesquisa; Mapa de Solo e Declividades (equivalentes na importância) e o Mapa Geológico (menos determinante). (Figura 39).

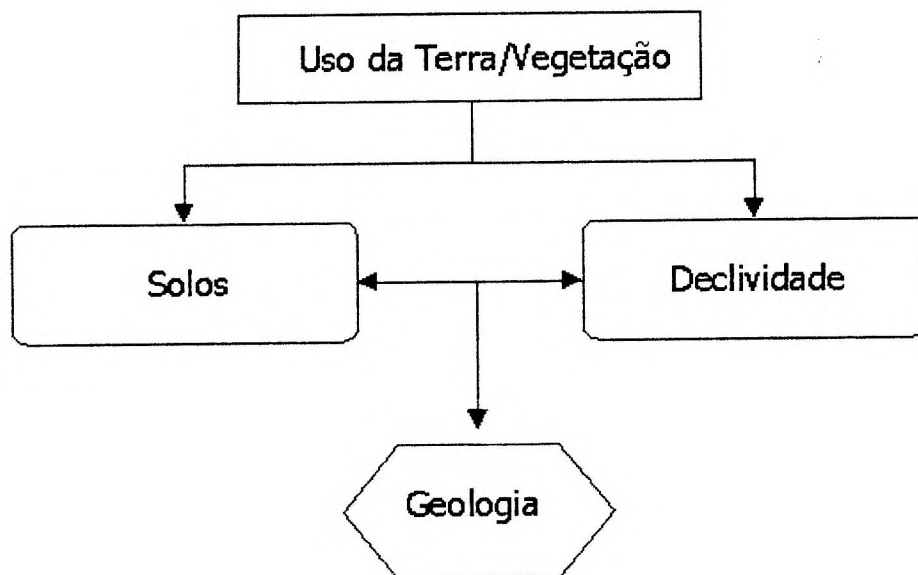


Figura 39 - Hierarquização da intensidade de importância dos Temas da pesquisa.

Com base na hierarquização procedemos a definição da importância relativa entre as evidências – essa relação é utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação pareada e partem da idéia de comparação qualitativa e gerando um valor quantitativo para os julgamentos aplicados.

Na **Tabela 07**, são apresentadas as variáveis qualitativas e os correspondentes valores numéricos para os julgamentos a serem realizados entre os pares.

Tabela 07 – Escala de Valores de AHP para Comparação Pareada.

Intensidade de Importância	Definição Importância	Explicação
1	igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
3	moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Adaptado de Saaty, 1991.

Com o subsídio dessa tabela e as considerações da hierarquização da intensidade de importância dos temas, foi estabelecida a Matriz de comparações pareadas diretas e reversas da pesquisa, (**Figura 40**).

TEMAS	Uso da Terra / Cobertura Vegetal	Solo	Declividade	Geologia
Uso da Terra/ Cobertura Vegetal	1	2	2	6
Solo	1/2	1	1	3
Declividade	1/2	1	1	3
Geologia	1/6	1/3	1/3	1

Figura 40 - Matriz de Comparação Pareada

Apos a elaboração da Matriz Pareada foi construída uma matriz normalizada que calcula os vetores de prioridades.

Para isso dividem-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização) e, então, soma os elementos em cada linha resultante e dividi e esta soma pelo número de elementos da linha, calculando assim o vetor de prioridade de cada tema, que é o peso estimado.

A **Figura 41** é a Matriz de Comparação Normalizada com o Vetor de Prioridade estimado para cada um dos temas.

TEMAS	Uso da Terra / Cobertura Vegetal	Solo	Declividade	Geologia	Vetor Coluna	Vetor Prioridade
Uso da Terra/ Cobertura Vegetal	0,4629	0,4618	0,4618	0,4615	1,8480	0,461
Solo	0,2315	0,2309	0,2309	0,2307	0,9240	0,231
Declividade	0,2315	0,2309	0,2309	0,2307	0,924	0,231
Geologia	0,074	0,0762	0,0762	0,0769	0,3035	0,077
Total					3,995	1

Figura 41 - Matriz de Comparação Normalizada e Vetor de Prioridade estimado

Com a elaboração da Matriz Ponderada foi calculado o peso de cada um dos critérios considerado. Assim, os pesos por critérios foram estabelecidos da seguinte forma, (**Tabela 08**).

Tabela 08 - Pesos do AHP por critérios

Temas	Pesos Estimados
Mapa de Uso da Terra/Vegetação	0,461
Mapa de Solos	0,231
Mapa de Declividades	0,231
Mapa Geológico	0,077
Total	1,0

Selecionando os pesos estimados é possível calcular a consistência dos julgamentos aplicados, para isso devemos seguir alguns passos:

Inicialmente multiplica-se a matriz pareada pelo vetor coluna tendo como resultado um novo vetor.

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 6 \\ 1/2 & 1 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 3 \\ 1/6 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,461 \\ 0,231 \\ 0,231 \\ 0,077 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,847 \\ 0,9235 \\ 0,9235 \\ 0,30245 \end{pmatrix}$$

Com a obtenção do resultado, dividimos a primeira componente do novo vetor pela primeira componente do vetor de prioridade, a segunda componente do novo vetor pela segunda componente do vetor de prioridade, e assim por diante. Se dividirmos a soma dos componentes deste vetor pelo número de componentes, teremos uma aproximação para o λ_{\max} (chamado de auto-vetor).

$$= \frac{1}{4} \left[\frac{1,847}{0,461} \quad \frac{0,9235}{0,231} \quad \frac{0,9235}{0,231} \quad \frac{0,30245}{0,077} \right] = 15,93$$

Para o cálculo de Índice de Consistência (IC) aplica-se a fórmula representada por $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$. O resultado do IC, segundo Saaty, (1990) deve estar dentro do intervalo de $[0 - 1]$ o que significa que os resultados dos julgamentos são adequados.

Aplicando essa formula aos resultados obtidos temos:

$$IC = \frac{15,93 - 4}{3} = 0,0058$$

Neste trabalho o resultado obtido foi $IC = 0,0058$, portanto apropriado na sua consistência.

Sob essas matrizes foi aplicado o peso dos critérios da comparação pareada (**Figura 42**) e efetuada a álgebra de mapas - elaborada na linguagem Legal e está no Anexo I.

$$M_R = 0,461 (MUT/CV) + 0,231 (MP) + 0,231 (MD) + 0,077 (MG)$$

M_R = Matriz Resultante
 MT/CV = Matriz Uso da Terra e Cobertura Vegetal
 MD = Matriz Declividade
 MG = Matriz Geologia

Figura 42 - Aplicação dos Pesos do AHP para os Temas

Cabe destacar que para estabelecer as Matrizes Temáticas envolvidas na álgebra de mapas foi utilizada a atribuição dos valores referentes aos modelos numéricos de classes estabelecidos na consulta aos especialistas.

Como resultado dessa técnica obtivemos um mapa numérico sintético que é apresentado com graduação de cores - no tom cinza. Assim para os tons

mais próximos do branco estão os menores valores numéricos e as cores mais próximas ao preto são os maiores valores numéricos. Fig.

Como resultado dessa técnica temos um mapa numérico sintético que é um mapa apresentado em níveis de cinza. **Figura 43.**

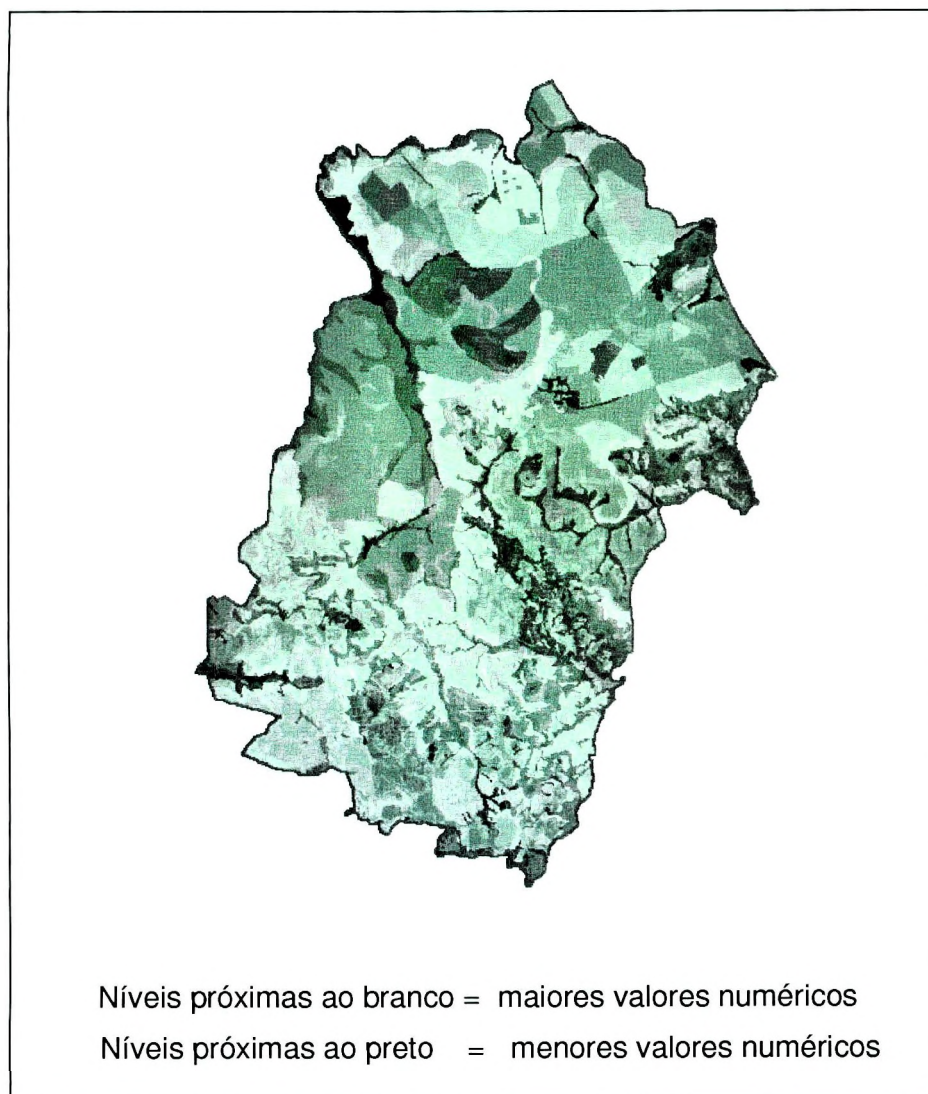


Figura 43 Modelo Numérico resultado a aplicação da técnica Processo Hierárquico Analítico

8.6. Padronização da Cor da Legenda dos Modelos

As tonalidades das cores adotadas nos fatiamentos aplicados para os modelos AHP e Booleano Ponderativo são adaptadas da proposta de Kondraki (1980) – onde é utilizada uma seqüência de cores opostas, isso é, um gradiente de cores frias a quentes que permite a representação das dualidades apresentadas. Neste trabalho as cores frias foram associadas as áreas em estabilidades e as cores quentes as áreas em instabilidade à erosão.

8.7. Discussão e Comparação dos Modelos - Booleano Ponderativo e Processo Hierárquico Analítico.

Inicialmente, destacamos que as técnicas de integração de diversos mapas temáticos são importantes, pois no transcorrer de pesquisas e estudos ambientais é comum surgirem dificuldades de interpretação de um conjunto de mapas, principalmente se o pesquisador trabalhar com essas variáveis isoladamente. Neste sentido as técnicas de álgebra de mapas possibilitam a combinação desse conjunto de variáveis e a elaboração de um único Mapa – Mapa Síntese que será um novo produto dentro do conjunto de mapas estudados.

Com a aplicação das técnicas de álgebra de mapas é possível elaborar uma Carta de Fragilidade Ambiental de uma determinada área, correlacionando os dados envolvidos no estudo.

Neta pesquisa a aplicação das técnicas de Inferência geográfica gerou dois mapas sintéticos numéricos em tonalidades de cinza. Optou-se pelo fatiamento desses mapas obtidos em três (3) grupos de classes, que foram subdivididas em nove (9) subgrupos, associando cores a cada classe, seguindo a adaptação da proposta de Kondraki (1980), seqüência de cores opostas.

O fatiamento nos nove subgrupos gerou um gradiente de intensidade de ocorrência para o panorama da estabilidade à erosão hídrica do município, (Figura 44).

Esta proposta de fatiamento ou classificação dos modelos numéricos (produtos das inferências geografias) adotada, teve como objetivo facilitar a interpretação e comparação dos resultados – para a elaboração dessa classificação, este trabalho tomou com base a proposta de Crepani (1996) para a geração de uma carta temática de vulnerabilidade natural à erosão, parte do procedimento de caracterização do meio físico nos processos de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE).

Grupo	Sub-grupo
Instável	instavel 3
	instavel 2
	instavel 1
Moderadamente Estável/instável	moderadam. estavel/instavel 3
	moderadam. estavel/instavel 2
	moderadam. estavel/instavel 1
Estável	estavel 3
	estavel 2
	estavel 1

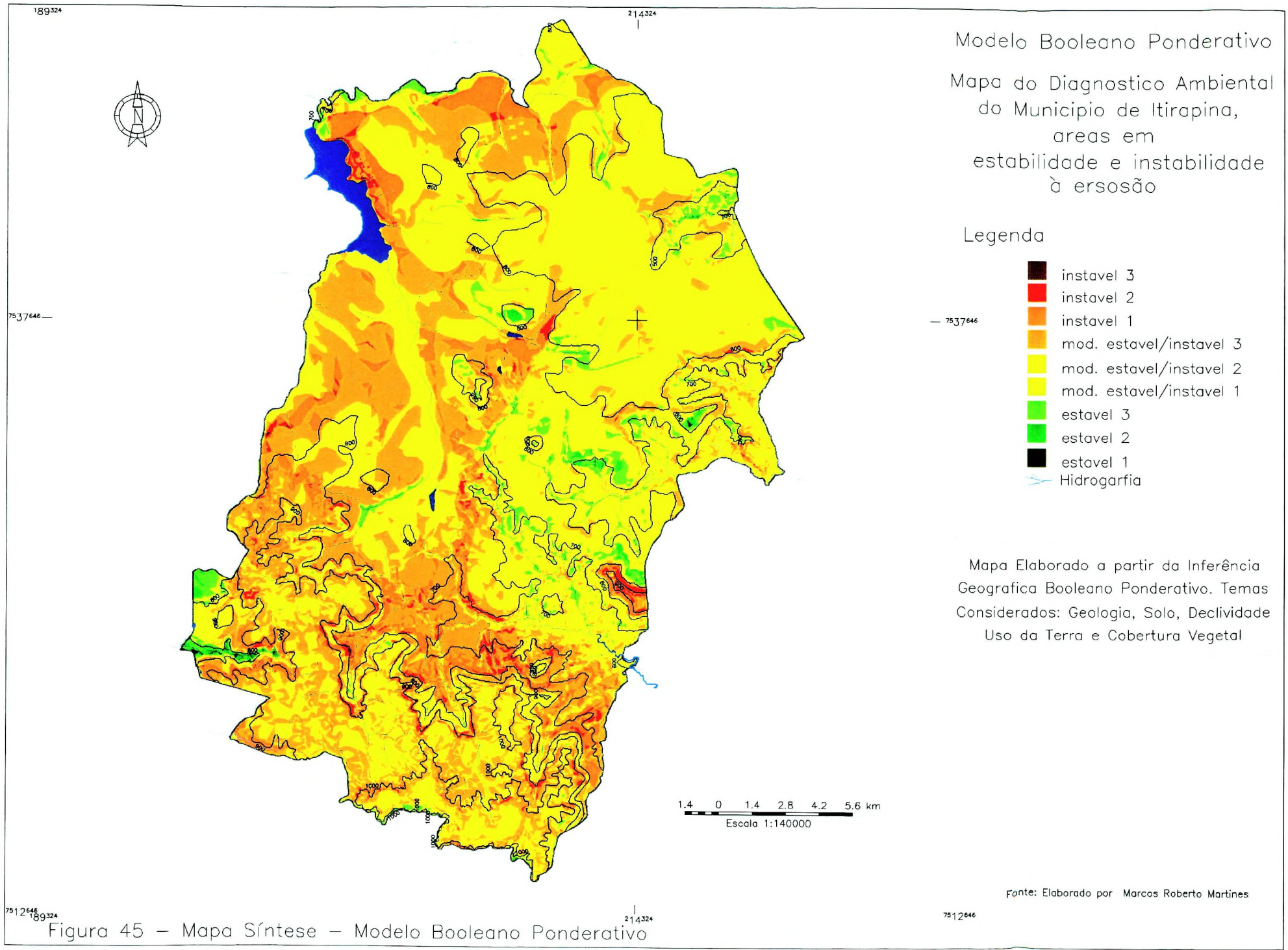
Figura 44 - Fatiamento dos Modelos Numéricos em Grupos e Subgrupos.

OS Mapas Sintéticos fatiados:

Figura 45 – Mapa Síntese - Modelo Booleano Ponderativo

Figura 46 – Mapa Síntese - Modelo Processo Hierárquico Analítico

A aplicação do fatiamento nos modelos numéricos sintéticos possibilitou a geração da **tabela 09** que apresenta em valores absolutos de área quadrada e de porcentagem dos subgrupos das classes estabelecidas para cada um dos modelos de inferência geográfica avaliados.



Modelo Booleano Ponderativo
 Mapa do Diagnostico Ambiental
 do Municipio de Itirapina,
 areas em
 estabilidade e instabilidade
 à erosão

Legenda

- instavel 3
- instavel 2
- instavel 1
- mod. estavel/instavel 3
- mod. estavel/instavel 2
- mod. estavel/instavel 1
- estavel 3
- estavel 2
- estavel 1
- Hidrografia

Mapa Elaborado a partir da Inferência Geografica Booleano Ponderativo. Temas Considerados: Geologia, Solo, Declividade Uso da Terra e Cobertura Vegetal

1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 km
 Escala 1:140000

Fonte: Elaborado por Marcos Roberto Martines

Figura 45 – Mapa Síntese – Modelo Booleano Ponderativo

7512646 189324

214324

7512646

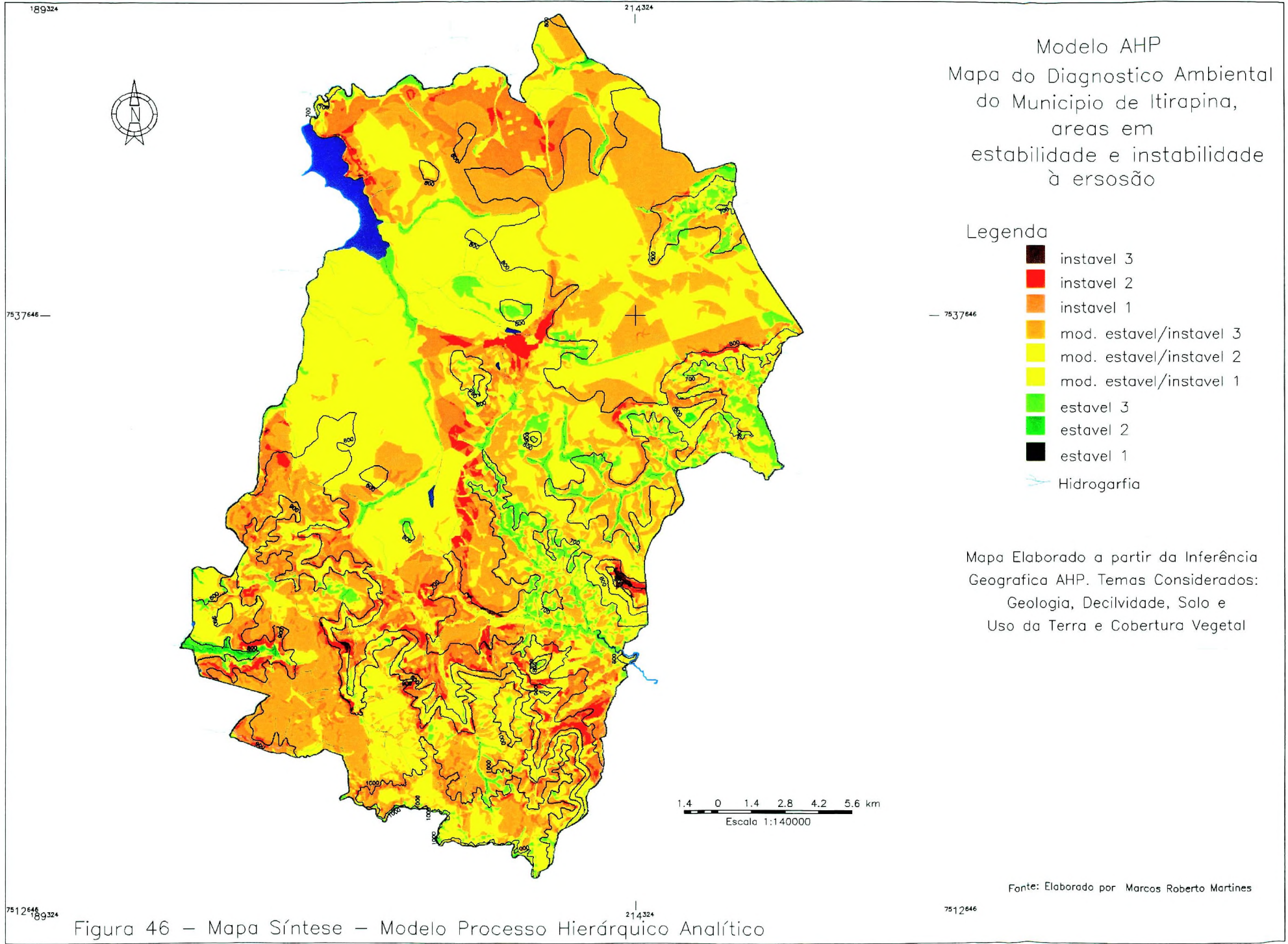


Figura 46 – Mapa Síntese – Modelo Processo Hierárquico Analítico

Tabela 09 - Distribuição das Classes de variáveis consideradas em km² e em porcentagem de área.

SUBGRUPOS	AHP		Modelo Booleano	
	Km ²	%	Km ²	%
Estável 1	0,20	0,03	0,67	0,12
Estável 2	5,22	0,91	3,15	0,55
Estável 3	35,58	6,21	18,58	3,24
Modernamente. Estável / Instável 1	74,09	12,93	136,52	23,82
Modernamente. Estável / Instável 2	182,76	31,89	188,85	32,96
Modernamente. Estável / Instável 3	160,16	27,95	172,31	30,07
Instável 1	97,87	17,08	44,05	7,69
Instável 2	16,28	2,84	8,10	1,41
Instável 3	1,07	0,19	0,80	0,14
Total	573,03	100,00	573,03	100,00

Outra forma de expressar o resultado obtido pelo fatiamento dos modelos é consolidar os valores dos subgrupos em grupos e apresentar na forma de **gráfico 05**.

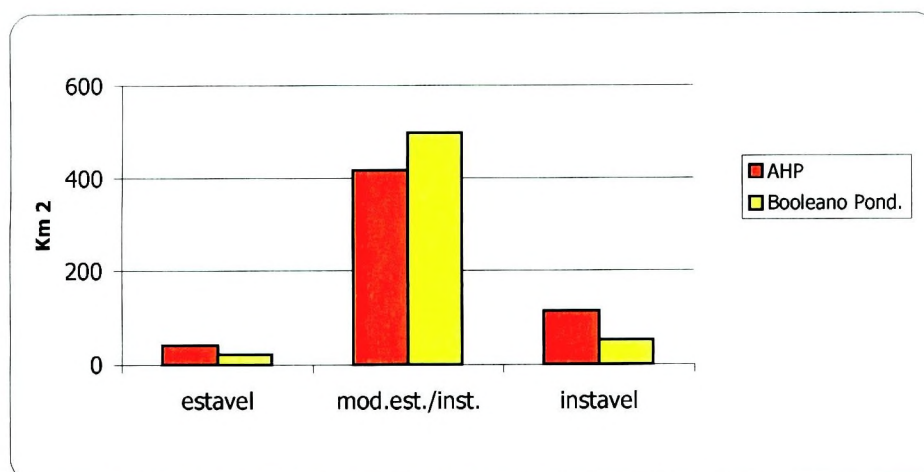


Gráfico 05 - Comparação da concentração das classes por área, em Km², dos dois modelos aplicados.

Conforme as observações inferidas a partir da tabela e do gráfico verificamos que nos dois modelos (Booleano Ponderativo e APH) as :

- maiores concentrações de área (Km²) no Grupo de Classe Moderadamente Estável / Instável;
- menores quantidades de área (Km²) nos Grupos de Classe Estável e na Classe Instável.

Em relação a comparação entre classes dos grupos dos modelos (Booleano Ponderativo e Processo Hierárquico Analítico – APH):

- AHP é maior em quantidade de área total (Km²) nas variáveis Estável e Instável do que o Booleano Ponderativo;
- Booleano Ponderativo é maior no grupo de classe moderadamente Estável e Instável do que o AHP.

Analisando os resultados individualmente por subgrupos de Classes em função da área e das variáveis ambientais temos:

- **Subgrupo Estável**

No AHP os subgrupos estável 1, 2 e 3 tem um total de 41 km², enquanto o Booleano Ponderativo 22,40 km², assim estabelecendo uma diferença significativa de 47% entre os modelos para esta classe. Em relação a porcentagem da área total do município classificado, temos o AHP com 7,15% e o Booleano Ponderativo com 3,91%.

Dentro do subgrupo, a maior concentração de área está na classe estável 3 nos dois modelos (AHP 6,21% e Booleano Ponderativo 3,24%), as classes estável 1 e 2 foram classificadas como as menores áreas do município.

Conforme as observações inferidas a partir da tabela e do gráfico verificamos que nos dois modelos (Booleano Ponderativo e APH) as :

- maiores concentrações de área (Km²) no Grupo de Classe Moderadamente Estável / Instável;
- menores quantidades de área (Km²) nos Grupos de Classe Estável e na Classe Instável.

Em relação a comparação entre classes dos grupos dos modelos (Booleano Ponderativo e Processo Hierárquico Analítico – APH):

- AHP é maior em quantidade de área total (Km²) nas variáveis Estável e Instável do que o Booleano Ponderativo;
- Booleano Ponderativo é maior no grupo de classe moderadamente Estável e Instável do que o AHP.

Analisando os resultados individualmente por subgrupos de Classes em função da área e das variáveis ambientais temos:

- **Subgrupo Estável**

No AHP os subgrupos estável 1, 2 e 3 tem um total de 41 km², enquanto o Booleano Ponderativo 22,40 km²; assim estabelecendo uma diferença significativa de 47% entre os modelos para esta classe. Em relação a porcentagem da área total do município classificado, temos o AHP com 7,15% e o Booleano Ponderativo com 3,91%.

Dentro do subgrupo, a maior concentração de área está na classe estável 3 nos dois modelos (AHP 6,21% e Booleano Ponderativo 3,24%), as classes estável 1 e 2 foram classificadas como as menores áreas do município.

Neste subgrupo, a diferença significativa entre os modelos está na classe estável 3, com o AHP tendo 47,73% a mais de área.

Para o AHP as concentrações de área na classe estável 3 aparecem ligadas às ocorrências de Matas, tanto ao longo da rede hidrográfica (Mata Galeria) quanto as áreas de Matas em declividades mais acentuadas ao longo do front das cuestas bálticas, Figura 45.

Já o modelo Booleano Ponderativo classificou de forma espacialmente similar ao AHP no tipo de ocorrência das variáveis ambientais, mas com uma diferença significativa quanto a quantidade de área.



Figura 47 - Áreas Classificadas como estável 3 no Modelo AHP, as matas no front da cuesta basáltica.

- **Subgrupo moderadamente estável/instável**

Nesta classe estão as maiores áreas do município classificadas.

- AHP a incidência do subgrupo ocorre em 417,01 Km² (72,77%)
- Booleano Ponderativo 497,68 Km² (86,85%) da área total

O modelo Booleano Ponderativo tem uma área classificada 17% maior que o AHP (cerca de 80 Km² de diferença).

Dentro do subgrupo da classe moderadamente estável/instável, o Booleano Ponderativo classificou 23,82% da área total do município na classe moderadamente estável/instável 1, que corresponde às áreas com predominância de Latossolos Vermelho Amarelo (Álico, A proeminente, textura muito argilosa ou argilosa), em declividades na faixa de 0 a 5 % com destinação agrícola voltada principalmente para a cultura da laranja e do café, **Figura 48**.

Para as duas outras classes, moderadamente estável/instável 2 e 3, em geral foram classificadas as áreas em solos arenosos e Vertissolos, em declividades de 0 a 12% e áreas com predominância de reflorestamentos e de campos antrópicos.



Figura 48 - Exemplo de área classifica com moderadamente estável/instável 1 no modelo Booleano Ponderativo. (Cultivo da laranja em baixas declividades)

Na área da cuesta basáltica o modelo Booleano Ponderativo classificou uma variação das classes moderadamente estável/instável 1 e 2, em solos Neossolo, altas declividades e com substrato rochoso basáltico. No Planalto, também reproduz-se essa mesma classificação para Latossolos Vermelho Amarelo e Argissolo (Álico, A moderado, textura média), em áreas destinadas ao plantio da cana-de-açúcar e campos antrópicos.

No Modelo AHP neste subgrupo foi mais difícil de identificar um padrão na combinação das variáveis temáticas. Isso pode ter ocorrido, pois o modelo técnico-operacional aplicado parte da premissa de uma hierarquização dos critérios, como o tema uso da terra e cobertura vegetal foi considerado como o mais determinante, fica clara a influência do procedimento técnico-operacional no resultado do modelo.

Portanto, ao analisarmos as áreas classificadas neste subgrupo, verifica-se que essas áreas estão sofrendo influência das classes do tema uso da terra e cobertura vegetal e é possível também identificar diferentes combinações entre as variáveis dos temas.

Em linha gerais, o Modelo classificou:

Classe Moderadamente Estável / Instável 2 com 31,89% da área total do Município – estas áreas estão destinadas a reflorestamentos, cultura da laranja e campos antrópicos em baixas declividades (0 a 5%) associadas a Latossolos Vermelho Amarelo e solos arenosos.

Classe Moderadamente estável / Instável 3 (25,95%) foram classificadas as áreas destinadas a cultura da cana -de -açúcar e campo antrópicos em declividades entre 5 e 12%.

- **Subgrupo instável**

No subgrupo, o modelo Booleano Ponderativo classificou 53,95 km² (9,24%) e o AHP 115,22 km² (20,11%). O modelo Booleano Ponderativo associou principalmente as áreas próximas a borda e sopé da cuesta, com campos antrópicos e solos arenosos, Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolos como instável 1 e 2.

Enquanto o Modelo AHP também classificou essas mesmas áreas, mas aumentou a abrangência desse subgrupo em relação a extensão da área, considerando essas instáveis 2 e 3 partes ao longo do front da cuesta basáltica, que sofreram perda da cobertura original (Mata) e foram substituídas geralmente por campos antrópicos.

Portando, existem diferenças classificatórias entre as áreas dos modelos de inferência geográfica, exemplo é as áreas da cuesta basáltica com uma classificação diferente para cada modelo - essa diferença ocorre porque o modelo AHP o efeito da litologia foi diminuído e, se valorizou o tipo de uso da terra e cobertura vegetal evidenciando a retirada da mata dessas áreas e as classificando como instáveis; enquanto no modelo Booleano Ponderativo foi mantida a influencia da litologia e essas áreas foram basicamente classificadas como moderadamente estável/instável 1 e 2, pois existe uma influência da litologia no modelo.



Figura 49 - Exemplo do avanço de campos no front da cuestas basálticas, áreas classificadas com instáveis no modelo AHP.

Ao se sintetizar os resultados dos dois (2) modelos constatamos que no Modelo AHP há uma melhor distribuição de valores nas extremidades do modelo numérico obtido - o Tema Uso da Terra e Cobertura Vegetação recebeu na hierarquização um peso diferenciado e, assim fatores como a retirada da cobertura vegetal e os diferentes tipos de utilização agrícola influenciaram diretamente no resultado do modelo numérico sintético.

Por outro lado, no modelo Booleano Ponderativo os valores resultantes estão mais concentrados no grupo moderadamente estável/instável, pois a soma linear dos temas suaviza a obtenção dos valores que compõe o modelo numérico sintético - este procedimento matemático atenua os resultados finais; esta suavização pode ocorrer tanto entre variáveis com valores de classes muito diferentes bem como com valores de classes muito próximos, resultando em uma classificação semelhante na para ambos os casos.

Portanto, podemos concluir que as diferenças classificatórias entre os modelos estão diretamente ligadas ao procedimento técnico-operacional de cada uma das inferências geográficas aplicada.

9 Considerações Finais

Este trabalho demonstrou a aplicação de duas diferentes técnicas de inferência geográficas à elaboração do mapa síntese do panorama da estabilidade ambiental do município de Itirapina.

O estabelecimento do panorama da estabilidade ambiental permite integrar diversas características naturais e associá-las a diferentes tipos de manejo e destino do solo, além de ser de extrema importância aos órgãos governamentais – suporte gerencial nas decisões.

A construção desse panorama pode ser feito de forma manual através do levantamento de produtos cartográficos já existentes ou mesmo com a elaboração de novos produtos tais como: cartas pedológicas, geológicas, uso da terra e cobertura vegetal entre outros – entretanto a integração desses diversos mapas temáticos pela forma manual (analógica) pode ser muito demorada e trabalhosa e ainda ser pouco flexível a alterações e atualizações, podendo demorar muito tempo para apresentação de resultados.

Neste trabalho, a aplicação das técnicas disponíveis no geoprocessamento permitiu a elaboração de um banco de dados geográficos que possibilitou a integração dos diferentes mapas temáticos (através das técnicas de inferências geográficas) e apresentar resultados; todavia, as modelagens e análises espaciais produzidas através das inferências geográficas devem ser mensuradas adequadamente, pois essas técnicas têm limitações e cabe aos pesquisadores entendê-las para aprimorar a qualidade dos trabalhos realizados.

10. Conclusões

Como mostrado no transcrito dessa pesquisa a aplicação das duas técnicas de integração de mapas produziram resultados que representam um modelo para panorama da estabilidade e instabilidade ambiental do município segundo o padrão numérico de classes dos temas considerados, assim possibilitando a identificação das áreas classificadas dentro da proposta para as variáveis estável e instável à erosão.

Os mesmos critérios avaliados pelas duas técnicas de inferência geográfica geram resultados diferentes, isso pode ser observado nos mapas sínteses estabilidade/instabilidade à erosão dos modelos AHP e Booleano Ponderativo – tal fato pode ser explicado pela diferença das técnicas de cálculo dos graus da variável estabilidade/instabilidade em ambos modelos.

Com relação a comparação dos resultados apresentados o modelo AHP mostrou-se mais objetivo, pois sua metodologia possibilita a aplicação de pesos diferenciados para cada tema, em função da importância relativa que é avaliada pelo pesquisador na construção da hierarquização, priorizando o objetivo a ser alcançado.

Por outro lado modelo Booleano Ponderativo realiza uma soma linear dos modelos numéricos (mapas temáticos) e efetua uma média aritmética em

função da quantidade de temas envolvidos na álgebra, gerando uma média dos valores das classes para cada célula da matriz que compõe o modelo - essa ponderação pode suavizar as extremidades dos resultados, pois considera para todos os temas, o mesmo grau de importância. De acordo com Bonham-Carter, (1994), a maior desvantagem deste método, recai provavelmente no caráter linear de adição das evidências.

As duas técnicas possibilitaram a integração de dados e podem produzir resultados satisfatórios, cabe na interpretação dos resultados ser considerado as limitações e restrições de cada uma das técnicas de inferência geográfica aplicadas.

11. Bibliografia

AB'SABER, A.N., **A Geomorfologia do Estado de São Paulo**. Aspectos Geográficos da Terra Bandeirante I.B.G.E., C.N.G., Rio de Janeiro, 1954.

ADANOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; NETO, J.M. Caracterização da Região de Cerrado. In: **Solos dos Cerrados – tecnologia e estratégia de manejo**. 1ª. Edição, Wemceslaw J. Goerd. São Paulo – SP. Nobel, Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados. 1986.

ALMEIDA, F.F.M. & BARBOSA, O. Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo – In: **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, do D.N.P.M.** nº 143, Rio de Janeiro, 1953.

AMARAL, G. **Sensores Remotos. Aplicação em Geociências**. IG-USP, s. ed, 1991.

ARONOFF, S. Classification accuracy: A user approach. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Maryland, v.48, n.8, p.1299-1307, Aug. 1982.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa, WDL Publications, 1989.

BIGARELLA, J.J., MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, 3, 1985, Maringá. **Anais...** Guia: ABGE/ADEA. 332 p.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: modelling with GIS**. - Canada: Pergamon, 1994.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: University Press, 1986.

BURROUGH, P.A.; MCDONELL, R.; **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: University Press, 1988.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; MEDEIROS, C. B.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Curitiba, Sagres Editora, 1997.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. disponível em <http://dpi.inpe.br/gilberto/livro>

CÂMARA, G.; ORTIZ, M.J. .Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral. In: **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento**, Lavras, UFLA/SBEA, 1998.

CÂMARA G, SOUZA RCM. FREITAS UM, GARRIDO J **COMPUTERS & GRAPHICS SPRING: Intergrating remote sensing ang GIS by object-oriented data modeling**. 20:(3) 395-403, May-Jun 1996.

CHRISTOFOLETTI, A., Ação do escoamento superficial das águas pluviais na serra de Santana. In: **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, S. Paulo, 1968.

COWEN, D. GIS versus CAD versus DBMS: what are the Differences? In **Introductory Readings in Geographical Information Systems**, no.54 , p 1551 – 1554, 1990.

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. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas: IG-Unicamp, 1992.

DE BIASI, M. DE A Carta Clinográfica: os Métodos de Representação e sua Confecção. **Revista do Departamento de Geografia.** FFLCH, SãoPaulo, n^o 6, p.45-60, 1992

DALE, P. F., MCLAUGHEN, J. D. Land information managent, an introdition with special reference to cadastral problems. In: **Third World Countries.** Oxford. Oxford University Press, 1990.

DAVIS, F.W.; SIMONET, D.S." GIS and Remote Sensing. In **Geographical Information Systems** D. Maguire, M. Good child, and D. Rhind, editors, - volume I, pages 191_213. John Wiley and Sons, 1993.

DUARTE, U. **Geologia Ambiental da Área de São Pedro – SP: Vetor Águas Subterrâneas** –Tese de Doutorado – Instituto de Geociências da USP, São Carlos – SP, 1980.

EASTMAN, J.R., Idrisi for Windows, User's Guide, version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. **Tutorial** Clark University, Worcester, USA. 1997.

EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, A.K. & TOLEDANO, J., Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** V.61, n.5, p.539-547, 1995.

EHLERS, M. Integration of Remoto Sensing with Geographic Information System: A Necessary Evolution. **PE&RS**, 55 (11), 1989, p.1619-1627.

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

FERREIRA, F.R.B. **Modelagem de Parâmetros Morfométricos da Bacias em Sistemas de Informação Geográfica**. Tese de Mestrado, UNESP Rio Claro, 2001.

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

FUKS, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, Embrapa, 2004.

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

GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Interpretações de Imagens**, São Paulo, ed. Nobel, 1982, 357p.

INPE - Departamento de Processamento de Imagens. **Manual de operação do SPRING: versão. 4.0**. São Jose dos Campos, SP, 2002.

IPT INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, (1981 a), **Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo**. IPT (Série Monografia, 6). 2v. Escala 1:500.000

IPT INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981 b), **Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo**, IPT (Série Monografia, 5). 2v. Escala 1:500.000

JENSEN J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. New Jersey. Prentice-Hall, 1986

KONDRACKI, J., OSTROWSKI, J. **Map and Synantropization of the Environment in Poland. Example of Environmental Maps**. Madrid, 1980.

MARBLE, D.F. et alli **Geographic Information Systems and Remote Sensing**. In: **The Manual of Remote Sensing**. Ed. Falls Church, American Society of Photogrammetry, vol 1, 1983

MARTINI, J. S. E AMARO, E. S. Mapeamento das alterações da cobertura vegetal natural: Novo procedimento metodológico utilizando-se os sistemas SITIM/SGI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, Manaus, **Anais...**, v.1, 1990.

NISHIYAMA, L. **Mapeamento Geotécnico Preliminar da Quadricula de São Carlos**. Dissertação de Mestrado, DGS/EESC (USP), São Carlos – SP. 1991

NOVO, E.M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 308 p., 1989.

OLENSKI, R. **Geprocessamento Aplicado ao Estudo da Dinâmica Ambiental da Folha Jacupiranga – SP**, USP, Dissertação de Mestrado, 1994.

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

PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do setor centro-oeste da depressão periférica paulista**. Tese (doutoramento) geografia física – UNESP - Rio Claro, 1968.

PINTO, C.A. L; at all The Integration Between GIS and Remoto Sensing. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA PARA O ESTUDO DSE RISCO NATURAIS, **Anais...**, 1., Bogotá – Colômbia, anais, 1990.

PINTO S.A. F. **Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos Solos: Contribuição Metodológica**. Tese de Doutorado, FFLCH/USP – São Paulo, 1991.

SAATY, L. T. **Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process**, VOL. 1, AHP SERIES, RWS PUBLICATIONS, 502p. . 1990

SPANS – Spatial Analysis System. Learning System. Canada, In: **Interatydac technologies Inc**, , v 3, p 300 – 307, 1990.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.;CHRISTOFOLETTI, **A. Introdução aos Sistemas de Infformação Geográfica**. Rio Claro, 1992

TOMLINSON, R. F. Geographic Information Systems – A New Frontier. In: Peuquet D.J. and Marble D.F. **Introductory Readings in Geographic Information System**. London, Taylor & Francis, 1990.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, 2001.

ANEXO I

AHP – Linguagem LEGAL

```
{
// Pesos a ser aplicados
// Decliv_Jura = 0.231
// Uso_terra2 = 0.461
// geologico = 0.077
// pedologico_des = 0.231

// Razao de consistencia
// CR = 0.000

// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("Decliv_");
Tematico var2 ("Uso_terra2");
Tematico var3 ("geologico");
Tematico var4 ("pedologico_des");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Decliv_ " ,
            "0 - 6":1.1,
            "6 - 12":2.11,
            "12 - 20":3.22,
            "30 - 30":4.22,
            "> 30":5);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Uso_terra2" ,
            "campo_antropico":3.29,
            "ciclo_longo":3.29,
            "ciclo_curto":4.43,
            "reflorestamento":2.21,
            "mata":1.0,
            "urbano":5.0,
            "solo_nu":5.0,
            "capoeira":2.29,
            "agua":0.0);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "geologico" ,
            "H":5.0,
            "Kb":3.63,
            "Ksg":1.28,
            "Jbp":3.75);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "pedologico_des" ,
```

```

"AQ":5.0,
"LRe":1.67,
"LRd":2.08,
"LE1":1.75,
"LE2":2.33,
"LV1":3.0,
"LV2":2.33,
"PV1":3.83,
"PV2":3.17,
"TE1":1.33,
"TE2":1.33,
"Li":4.17,
"Or":2.58);

// Definicao do dado de saida

Numerico var5 ("AHP");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="Decliv_");
var2 = Recupere (Nome="class-T_");
var3 = Recupere (Nome="Geo");
var4 = Recupere (Nome="solo_non");

// Criacao do dado de saida

var5 = Novo (Nome="AHP", ResX=30, ResY=30, Escala=100000,
            Min=-1, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var5 = 0.231*(Pondere(var1, tab1)) + 0.461*(Pondere(var2, tab2))+
0.077*(Pondere(var3, tab3))+ 0.231*(Pondere(var4, tab4));
}

```

Booleano Ponderativo – Linguagem LEGAL

```
{  
  
// Definicao dos dados de entrada  
  
Tematico var1 ("Decliv_");  
Tematico var2 ("Uso_terra2");  
Tematico var3 ("geologico");  
Tematico var4 ("pedologico_des");  
  
Tabela tab1 (Ponderacao);  
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Decliv_" ,  
            "0 - 6":1.1,  
            "6 - 12":2.11,  
            "12 - 20":3.22,  
            "30 - 30":4.22,  
            "> 30":5);  
  
Tabela tab2 (Ponderacao);  
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Uso_terra2" ,  
            "campo_antropico":3.29,  
            "ciclo_longo":3.29,  
            "ciclo_curto":4.43,  
            "reflorestamento":2.21,  
            "mata":1.0,  
            "urbano":5.0,  
            "solo_nu":5.0,  
            "capoeira":2.29,  
            "agua":0.0);  
  
Tabela tab3 (Ponderacao);  
tab3 = Novo (CategoriaIni = "geologico" ,  
            "H":5.0,  
            "Kb":3.63,  
            "Ksg":1.28,  
            "Jbp":3.75);  
  
Tabela tab4 (Ponderacao);  
tab4 = Novo (CategoriaIni = "pedologico_des" ,  
            "AQ":5.0,  
            "LRe":1.67,  
            "LRd":2.08,  
            "LE1":1.75,  
            "LE2":2.33,  
            "LV1":3.0,  
            "LV2":2.33,
```

```

    "PV1":3.83,
    "PV2":3.17,
    "TE1":1.33,
    "TE2":1.33,
    "Li":4.17,
    "Or":2.58);

// Definicao do dado de saida

Numerico var5 ("Ponderado");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="Decliv_");
var2 = Recupere (Nome="class-T_");
var3 = Recupere (Nome="Geo");
var4 = Recupere (Nome="solo_non");

// Criacao do dado de saida

var5 = Novo (Nome="Bool_Prof", ResX=30, ResY=30, Escala=100000,
    Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var5 = 0.25*(Pondere(var1, tab1)) + 0.25*(Pondere(var2, tab2))+ 0.25*(Pondere(var3,
tab3))+ 0.25*(Pondere(var4, tab4));

```

A digitalização deste documento foi possível graças ao investimento do Programa de Pós-graduação em Geografia Humana (PPGH-FFLCH-USP) e realizada com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Essa ação integra as atividades de comemoração dos 50 anos do PPGH no ano de 2021. Para mais informações sobre o PPGH e sua história, visite a página do programa: <http://ppgh.ffeilch.usp.br/>.



1971-2021