

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS DA ÁREA URBANA E DE
EXPANSÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP – ESTUDO
MULTITEMPORAL

VITOR EDUARDO MOLINA JUNIOR

SÃO CARLOS – SP
2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS DA ÁREA URBANA E DE
EXPANSÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS,SP – ESTUDO
MULTITEMPORAL

Vitor Eduardo Molina Junior

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Sérgio Antonio Röhm

SÃO CARLOS – SP

2003

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M722rh

Molina Junior, Vitor Eduardo.

Recursos hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP – Estudo multitemporal / Vitor Eduardo Molina Junior. -- São Carlos : UFSCar, 2003.

106 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2003.

1. Planejamento urbano. 2. Recursos hídricos. 3. Sistema de informação geográfica. 4. Análise multitemporal. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP
Fone/FAX: (16) 260-8295
e-mail: ppgeu@power.ufscar.br
home-page: www.ufscar.br/~ppgeu



FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 25/05/2003
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Sergio Antonio Röhm
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas
(LAPAG/UNIFEI)

Prof. Dr. Silvana Ribeiro Liporaci
(Pesquisadora FAPESP/UFSCar)

Prof. Dr. Suelly da Penha Sanches
Presidente da CPG-EU

*“O Tejo é mais belo que o rio que corre pela minha aldeia,
Mas o Tejo não é mais belo que o rio que corre pela minha aldeia
Porque o Tejo não é o rio que corre pela minha aldeia.”*

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sérgio Antonio Röhm, pela orientação e colaboração na elaboração do trabalho e, principalmente pela amizade.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas, pela coorientação na pesquisa e pela amizade.

A meus pais, Victor e Maria Rita, e minhas irmãs, Juliana e Gabriela, pelo apoio e compreensão durante a pesquisa.

Ao prof. Segundo Carlos Lopes pela contribuição na elaboração do trabalho e pela amizade.

As amigas Mariana e Vivian pela convivência e amizade durante todo o tempo da pesquisa.

Aos amigos João Luís Molina, Anderson Manzoli , Luiz Facioli e Thiago Paglarin pela amizade.

Ao prof. Dr. Roberto Chust Carvalho pela oportunidade dada na graduação de me enveredar na pesquisa científica e pela amizade.

Aos colegas da Engenharia Urbana pelas constantes discussões que ajudaram a ampliar os horizontes de conhecimento.

Aos colegas de sala Prof. Dr. Silvana Liporaci, Fábio e Júnior (bolsistas) pela amizade.

A FAPESP pela bolsa oferecida e oportunidade da realização da pesquisa.

A CAPES pela bolsa oferecida no início do mestrado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	ix
RESUMO	x
<i>ABSTRACT</i>.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Sensoriamento Remoto.....	4
3.1.1 Sistemas Sensores.....	8
3.1.2 Sistemas Fotográficos.....	9
3.1.3 Satélites de Observação da Superfície Terrestre.....	11
3.1.3.1 Landsat.....	11
3.1.3.2 Spot.....	14
3.1.4 Comportamento Espectral dos Alvos.....	16
3.1.4.1 Solo.....	16
3.1.4.2 Água.....	17
3.1.4.3 Vegetação.....	17
3.1.5 Classificação Multiespectral.....	19
3.1.5.1 Classificação Supervisionada.....	21
3.1.5.2 Classificação Não-Supervisionada.....	23

3.1.5.3 Classificação Híbrida.....	24
3.1.6 Análise Digital de Dados Multitemporais.....	24
3.2 Sistemas de Informação Geográfica.....	24
3.2.1 Formas de Representação de Dados.....	28
3.2.2 Integração entre Sig e Sensoriamento Remoto.....	31
3.3 A Urbanização e o Desenvolvimento Sustentável.....	33
3.3.1 Impactos nos Recursos Hídricos Superficiais.....	36
3.3.1.1 Poluição da Água.....	38
3.4 Legislação Ambiental Sobre Recursos Hídricos.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1 Objeto de Estudo.....	46
4.2 Materiais.....	48
4.2.1 Programas.....	48
4.2.1.1 Spring 3.6.02 e 3.6.03.....	49
4.2.1.2 Impima.....	50
4.2.1.3 Scarta.....	50
4.2.1.4 Iplot.....	50
4.2.1.5 Ambiente Operacional.....	50
4.2.1.6 Banco de Dados.....	50
4.2.2 Documentos.....	51
4.2.3 Equipamentos.....	51

4.3 Método.....	51
4.3.1 Coleta e Conversão dos Dados.....	51
4.3.1.1 Mapas Analógicos.....	53
4.3.1.2 Fotografias Aéreas.....	53
4.3.1.3 Imagem Orbital.....	54
4.4 O Projeto.....	58
4.4.1 Arquitetura do Banco de Dados.....	58
4.4.2 Modelagem do Projeto.....	59
5. RESULTADOS.....	61
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	76
6.1 Área Urbana.....	76
6.2 Recursos Hídricos.....	78
6.3 Mata Ciliar.....	86
6.4 Legislação Ambiental.....	92
6.5 Uso e Ocupação do Solo.....	96
6.6 Considerações Sobre a Metodologia Utilizada.....	98
7. CONCLUSÕES.....	98
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-	Objetivos gerais da pesquisa	3
FIGURA 2-	Esquema representativo dos quatro elementos fundamentais das técnicas de Sensoriamento Remoto.....	5
FIGURA 3-	Espectro Eletromagnético.....	7
FIGURA 4-	Comportamento espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa.....	18
FIGURA 5-	Etapas da classificação temática	20
FIGURA 6-	Limite de aceitação de uma classificação.....	22
FIGURA 7-	Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.....	27
FIGURA 8-	Estrutura Matricial de ponto, linha e área.....	29
FIGURA 9-	Estrutura vetorial de ponto, arco e polígono.....	30
FIGURA 10-	Atividades Humanas no Meio Urbano e a Poluição Ambiental.....	36
FIGURA 11-	Objeto de estudo.....	46
FIGURA 12-	Fluxograma da metodologia empregada.....	52
FIGURA 13-	Área Urbana (tema 1).....	55
FIGURA 14-	Vegetação Primária (tema 2).....	55
FIGURA 15-	Vegetação de reflorestamento (tema 3).....	56
FIGURA 16-	Solo Exposto (tema 4)	56
FIGURA 17-	Plantio (tema 5).....	57
FIGURA 18-	Pastagens (tema 6).....	57
FIGURA 19-	Banco de dados do projeto, criado no ambiente do sistema gerenciador de bancos de dados Access.....	58

FIGURA 20-	Fluxograma dos resultados.....	61
FIGURA 21-	Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1962.....	63
FIGURA 22-	Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1972.....	64
FIGURA 23-	Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1998.....	65
FIGURA 24-	Fotografias aéreas coloridas do ano 2000.....	66
FIGURA 25-	Limite da área urbana para 2002. Imagem Landsat 7 ETM+ fusão das bandas 5R4G3B e PAN.....	67
FIGURA 26-	Classificação supervisionada realizada no ambiente do SPRING 3.6.03.....	68
FIGURA 27-	Hidrografia e vegetação referente a 1962 com limite de 2002.....	70
FIGURA 28-	Hidrografia e vegetação referente a 1972 com limite de 2002.....	71
FIGURA 29-	<i>Buffers</i> de 30 metros ao longo dos corpos d'águas e de 50 metros ao redor das nascentes em 1962.....	73
FIGURA 30-	<i>Buffers</i> de 30 metros ao longo dos corpos d'águas e de 50 metros ao redor das nascentes em 1972.....	74
FIGURA 31-	<i>Buffers</i> de 30 metros ao longo dos corpos d'águas e de 50 metros ao redor das nascentes em 1998.....	75
FIGURA 32-	Evolução da mancha urbana entre 1962 a 2002.....	76
FIGURA 33-	Superposição das áreas estudadas (1962, 1972, 1998 e 2002).....	77
FIGURA 34-	Comparação do traçado do Rio Monjolinho nos anos de 1972 e 1998.....	79
FIGURA 35-	Fotografia atual do Rio Monjolinho (ano de 2002), onde este se encontra confinado entre vias de circulação.....	79
FIGURA 36-	Localização das cenas apresentadas na Figura 37.....	80
FIGURA 37-	Figuras de 37a a 37j.....	81 a 85
FIGURA 38-	Região com possível área alagável no cenário de 1962.....	86
FIGURA 39-	Localização das cenas apresentadas na Figura 40.....	87

FIGURA 40-	Figuras de 40a a 40h.....	88 a 91
FIGURA 41-	Figuras de 41a a 41c.....	92 e 93
FIGURA 42-	Figuras de 42a a 42e.....	94 a 96
FIGURA 43-	Imagem orbital e respectiva classificação supervisionada.....	97

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-	Faixas espectrais e aplicações	8
QUADRO 2-	Características espectrais e espaciais do sensor MSS.....	12
QUADRO 3-	Características espectrais, espaciais e aplicações do sensor TM	13
QUADRO 4-	Características espectrais e espaciais do sensor ETM+ LANDSAT-7...	14
QUADRO 5-	Características espectrais, espaciais e aplicações do sensor HRV	15
QUADRO 6-	Coordenadas do retângulo envolvente do projeto.....	59
QUADRO 7-	Categorias temáticas.....	60
QUADRO 8-	Resultados obtidos para os cenários resultados.....	69
QUADRO 9-	Resultados obtidos referentes a 1962, 1972 e 2000.....	69

RESUMO

MOLINA JUNIOR, V.E.(2003) – Recursos Hídricos Superficiais da Área Urbana e de Expansão da Cidade de São Carlos, SP – Estudo Multitemporal.

Com o objetivo de realizar um estudo multitemporal da evolução dos impactos nos recursos hídricos para a cidade de São Carlos, SP, foi elaborado uma análise da interação entre os corpos d'águas e nascentes da área estudada com a evolução urbana entre os anos de 1962 e 2002. Além disso, foi observado como se deu o cumprimento do Código Florestal nos períodos estudados. Para atingir os objetivos da pesquisa, foram obtidos os cenários de 1962, 1972, 1998 e 2002 utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto e SIG. Para os cenários de 1962 e 1972 foram utilizadas fotografias aéreas na escala aproximada de 1:25000; para o cenário de 1998 foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:8000 e, para o cenário de 2002 foi utilizada imagem orbital Landsat 7 ETM+. A partir dos resultados obtidos foi possível detectar que os recursos hídricos sofreram interferência da evolução urbana, como soterramento de nascentes e impermeabilização do leito de corpos d'águas e de áreas ao entorno destes. Enfim, o trabalho mostrou um histórico dos impactos dos recursos hídricos superficiais e foram ressaltadas algumas áreas que devem ser protegidas a fim de garantir a sustentabilidade dos corpos d'águas que ainda não foram atingidos pela ação antrópica.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, SIG, Análise Multitemporal, Recursos Hídricos.

ABSTRACT

MOLINA JUNIOR, V.E.(2003) – Superficials Hydrics Resources of Urban and Expansion Area of São Carlos city,SP – Multitemporal Analysis.

The purpose of achieving a multitemporal study of evolution of impacts in the hydric resources for São Carlos city, SP, it was elaborated an analysis of interaction among the superficial hydric resources and fountainhead of the studied area with the urban evolution from 1962 to 2002. Besides, it was observed how the execution of forestal code was given in the studied periods. To reach the research's purposes, the sceneries were obtained from 1962, 1972, 1998 and 2002 using the techniques of remote sensing and GIS. For the sceneries of 1962 and 1972, aerial photos were used in the approximate scale of 1:25000. For the scenery of 1998, aerial photos were used in the scale of 1:8000, and for the scenery of 2002, orbital image Landsat 7 Etm+ was used. From the obtained results, it was possible to detect that the hydric resources suffered interference of urban evolution, like bury of fountainhead and impermeabilization of the canal of streams and areas around these ones. At last, the work showed a description of impacts of superficiais hydrics resources and some areas were emphasized that must be protected to guarantee the sustainable of hydrics resources that weren't affected by antrophic action, yet.

Key Words: Remote Sensing, GIS, Multitemporal Analysis, Hydrics Resources.

1. INTRODUÇÃO

O panorama geral observado nas cidades brasileiras de médio e grande porte é de deterioração ambiental de sua área urbana e de expansão. Tal situação tem sido provocada por ocupação de fundo de vales, supressão de matas ciliares, disposição inadequada de entulho e lixo, assoreamento de corpos d'água, disposição de efluentes líquidos sem tratamento prévio, impermeabilização do solo urbano, adensamento populacional em áreas impróprias para ocupação ou em áreas de preservação ambiental, ou seja, utilização inadequada do solo urbano.

Com o crescimento urbano, as cidades são ocupadas de maneira desordenada, na maioria das vezes de forma irregular, não respeitando as diretrizes de crescimento do município, normas de loteamento e áreas de preservação permanente. A ocupação de áreas de preservação permanente, áreas de mananciais e de abastecimento, prejudica a sustentabilidade dos recursos hídricos da cidade.

Os rios, córregos e demais corpos d'água que drenam o ambiente urbano sofrem agressões significativas nesse processo de desenvolvimento e expansão urbana. Segundo MOTA (1999), as alterações introduzidas pelo homem no meio ambiente são sempre procedidas de forma rápida e variada, não permitindo, muitas vezes, que haja recuperação espontânea da natureza.

Para GONDOLO (1999), “o processo acelerado de urbanização levou ao uso indiscriminado dos recursos hídricos, tendo, como consequência, a escassez e a deterioração da qualidade da água para o consumo humano”.

O uso indiscriminado da água e a ausência de políticas para sua preservação e conservação por parte dos municípios podem privar as gerações futuras da utilização dos recursos hídricos do município, ou seja, tal ação poderá condenar a sustentabilidade desse recurso para a comunidade.

Cabe, então, ao poder público tomar conhecimento desses problemas, obter informações a respeito das cidades, utilizar ferramentas adequadas para processar e analisar esses dados e tomar as decisões que venham propiciar medidas mitigadoras para a solução dos referidos problemas. As informações atualizadas e confiáveis propiciam a construção de análises espaciais capazes de indicar as deficiências setoriais, permitindo a definição de prioridades e dimensionamento de recursos para ações no

ambiente urbano. Isso pode ser obtido através do geoprocessamento, utilizando-se o sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.

Muitas cidades necessitam buscar água em lugares distantes do município, o que conseqüentemente representam custos mais altos com os meios para captação e adução da mesma. Outras estão explorando águas subterrâneas, utilizando-se de um recurso que poderia ser utilizado quando a água superficial já não atendesse à demanda de consumo.

O problema de gerenciamento de recursos hídricos no estado de São Paulo configurou-se num fato importante a ser considerado, culminando com a criação dos Comitês de Bacia, incumbido para a definição das diretrizes para garantir a utilização adequada da água.

A pesquisa realizada estudou a evolução dos impactos ambientais superficiais nos recursos hídricos superficiais da área urbana e de expansão do município de São Carlos, entre 1962 e 2002, bem como os fatores que influenciaram a situação atual. Para tal, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e SIG para análise multitemporal dos impactos.

É importante ressaltar que esta pesquisa esteve vinculada ao projeto de políticas públicas de título Uso Atual do Solo no Município de São Carlos, SP – Base de Planejamento Urbano e Rural, processo nº 98/10924-3, FAPESP.

2. OBJETIVOS

Os objetivos gerais da pesquisa, utilizando-se imagens orbitais, fotografias aéreas e SIG, podem ser visualizados na Figura 1:

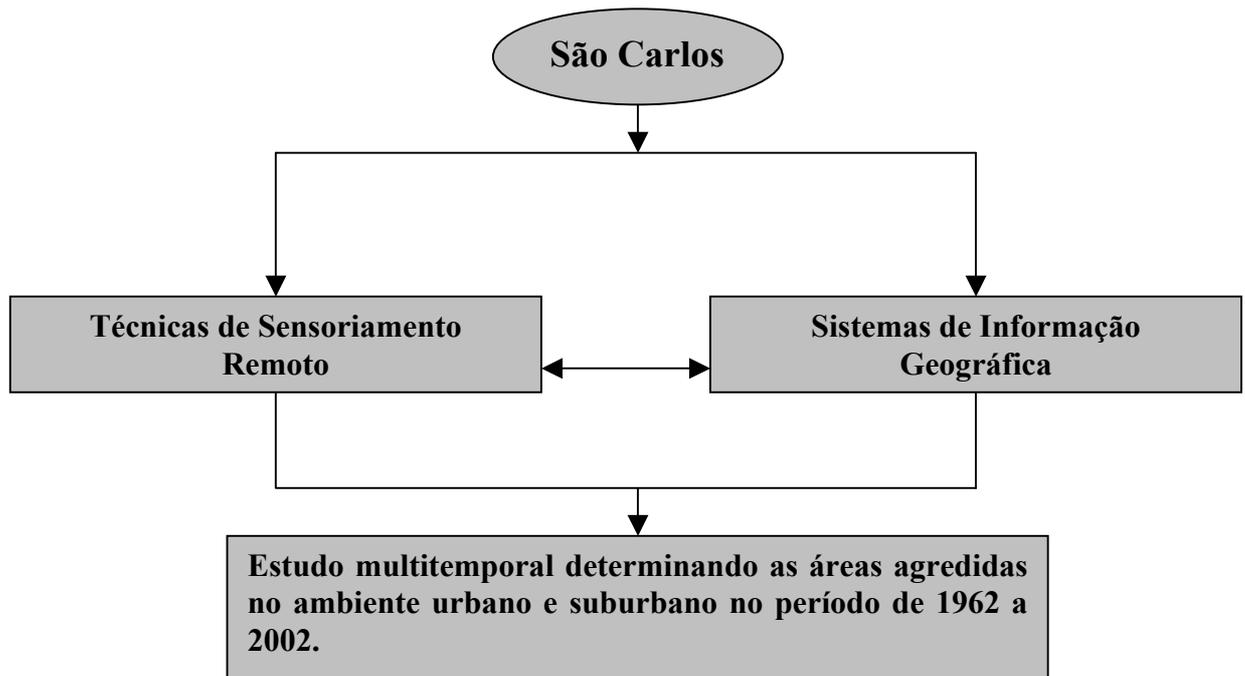


FIGURA 1 - Objetivos gerais da pesquisa.

Os objetivos específicos são definidos a seguir:

- quantificar, avaliar e analisar multitemporalmente a evolução dos impactos ambientais superficiais nos recursos hídricos entre 1962 e 2002, na área urbana e de expansão decorrente da ocupação urbana;
- analisar e discutir os possíveis fatores indutores das diversas situações; e
- discutir a situação da cidade de São Carlos, considerando se as áreas de preservação ambiental atendem a legislação vigente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sensoriamento Remoto

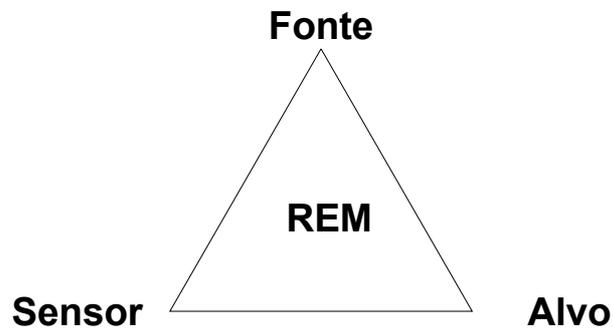
As imagens de sensoriamento remoto têm sido utilizadas como fonte de dados e informações para geologia, planejamento urbano, monitoramento ambiental e florestal, estudos oceânicos, agrícolas, clima, entre outros. Além disso, o sensoriamento remoto é útil para avaliar o comportamento multitemporal dos vários elementos presentes no ambiente terrestre, o que é importante, por exemplo, para o monitoramento ambiental.

NOVO (1989) define sensoriamento remoto como “a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com eles”.

Ainda segundo Novo, “sensoriamento remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações”.

Para EASTMAN (1997), sensoriamento remoto pode ser definido como qualquer processo através do qual é coletada informação a respeito de um objeto, área ou fenômeno, sem contato direto com eles. O termo sensoriamento remoto vem sendo associado mais especificamente com a indicação de interações entre os materiais da superfície terrestre e a energia eletromagnética.

Segundo NOVO (2001), para melhor compreender a definição de sensoriamento remoto, faz-se necessário identificar os quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento, representados no esquema da Figura 2.



Fonte: NOVO (2001).

FIGURA 2 - Esquema representativo dos quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto.

Assim, no centro do triângulo do esquema encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM) que se configura no elo de ligação entre os demais elementos. A fonte, responsável pelo fornecimento da REM, pode ser o sol, a Terra, antenas de microondas etc. O sensor é o elemento que coleta e registra a REM refletida ou emitida pelo alvo, que é o elemento do qual pretende extrair a informação.

De acordo com CROSTA (1992), “um dos objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir entre e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso de solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação tornam-se possíveis devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamentos esses que podem, portanto, ser utilizados para identificá-los”.

Ainda para Crosta, “a função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e extração da informação contida nas imagens, para posterior classificação”.

Para SCHOWENGERDT (1997) e NOVO (2001), algumas importantes aplicações da tecnologia de sensoriamento remoto são:

- monitoramento ambiental e crescimento urbano;
- detecção e monitoramento das mudanças globais (depleção do ozônio atmosférico, devastação de florestas, aquecimento global);
- uso na agricultura (condições das colheitas, previsão de safra, erosão de solo);

- levantamento de recursos não-renováveis (minerais, combustíveis fósseis, gás natural);
- levantamento de recursos renováveis (áreas alagadas, solos, florestas, oceanos);
- emprego na meteorologia (dinâmica atmosférica, previsão do tempo);
- mapeamento (topografia, uso do solo, engenharia civil); e
- reconhecimento militar (estratégia militar).

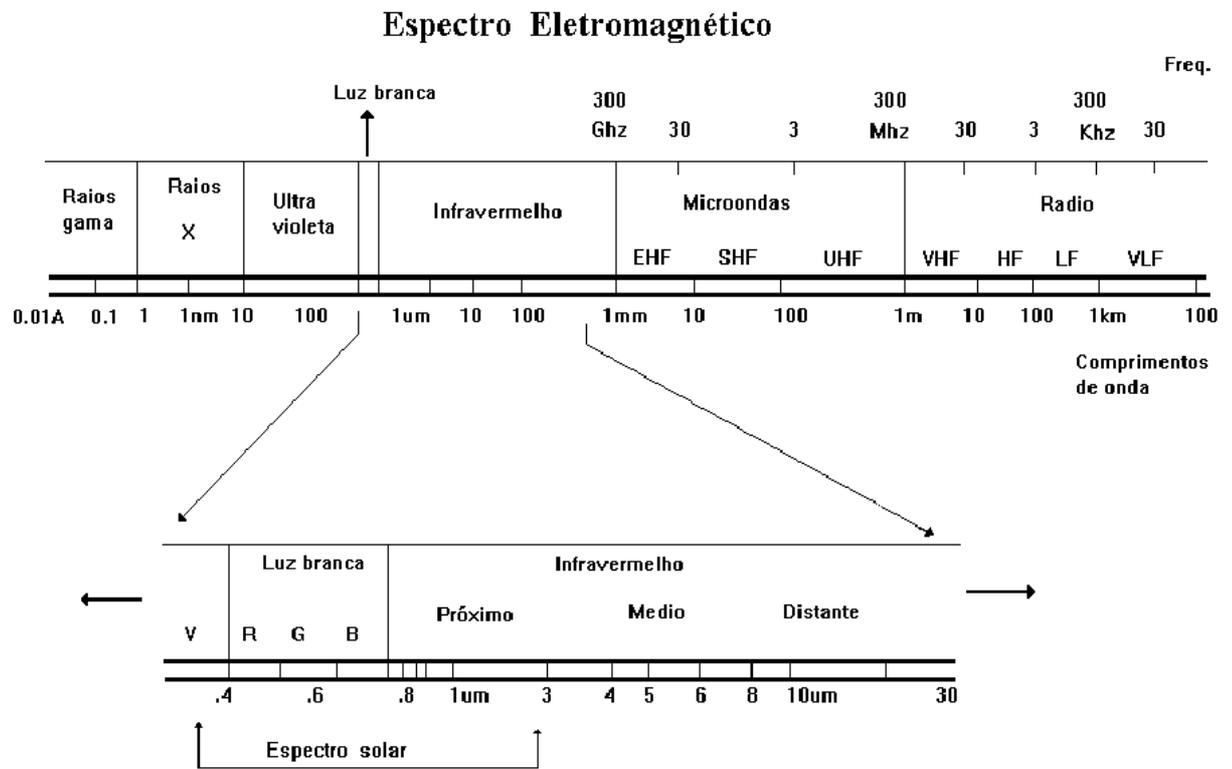
A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para estudos urbanos mostra-se eficaz na análise das mudanças da ocupação urbana, permitindo realizar levantamentos relativos ao ambiente urbano, tais como: alterações da extensão dessas áreas, mudanças no seu uso e na ocupação urbana, e transformações dentro do ambiente urbano.

Estes e Stars¹ (1986), citados por DUPAS (1997), comentam que a aplicação e a integração de sensoriamento remoto com SIG têm objetivos bem definidos quanto à utilização para policiamento, integração de dados, recursos multitemporais, análises e informações de suporte às decisões que possibilitam até estudos globais.

Para que seja possível a extração de informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem nesse comportamento (NOVO, 1989). Assim, não é possível determinar para cada alvo uma assinatura espectral característica, pois a determinação não depende apenas da constituição fisiológica de características do alvo, mas de todos os fatores que o envolvem naquele momento.

As radiações eletromagnéticas variam em função da frequência e, conseqüentemente, do comprimento de onda. O conjunto dessas radiações, ordenadas em função do comprimento de onda e da frequência, compreende o espectro eletromagnético mostrado na Figura 3 (MOREIRA, 2001).

¹ ESTES, J.E.; STARS, J.L. (1993). Remote sensing and GIS integration: Towards a prioritized research agenda. *NCGLA – National Center for Geographic Information and Analysis Conservation*, Technical Report 93-4, may, 14p.



Fonte: INPE (2001).

FIGURA 3 - Espectro eletromagnético.

Conforme é observado na Figura 3, o espectro eletromagnético distribui-se nas seguintes faixas e aplicações:

- **radiação gama**: comprimentos de ondas abaixo de 1 Angstrom, com alta frequência e aplicações na medicina e processos industriais;
- **raios X**: comprimentos de ondas entre 1 e 10 Angstroms, com aplicações em medicina e no estudo de matéria; são absorvidos pelos gases na alta atmosfera quando provenientes do sol;
- **radiação ultravioleta**: comprimentos de ondas entre 0,01 e 0,38 μm . O espectro UV é dividido em UV próximo (0,3 a 0,38 μm), UV distante (0,2 a 0,3 μm) e UV máximo (0,1 a 0,2 μm). Pode ser utilizada para detecção de minerais por luminiscência e de poluição marinha;
- **radiação visível (LUZ)**: conjunto de comprimentos de ondas entre 0,39 μm e 0,70 μm , região onde o olho humano é capaz de distinguir as cores. Importante para o

sensoriamento remoto, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete. Compreende a região do azul (0,39 a 0,50 μm), do verde (0,50 a 0,62 μm) e do vermelho (0,62 a 0,70 μm); e

- **radiação infravermelha:** comprimento de ondas com comprimento entre 0,70 μm e 1000 μm , divididas em IV próximo (0,70 a 1,1 μm), IV médio (1,1 a 3,0 μm) e IV distante (3,0 a 1000 μm).

Cada faixa espectral é sensível a determinadas substâncias que compõem o ambiente terrestre, citadas no Quadro 1:

QUADRO 1 – Faixas espectrais e aplicações.

Faixa Espectral	Aplicações
0,45 – 0,52 μm	apresenta grande penetração em corpos d'água, sendo utilizado no mapeamento das águas costeiras e também para diferenciar solo e vegetação;
0,52 – 0,60 μm	utilizada para medir a reflectância da vegetação;
0,63 – 0,69 μm	sua absorção pela clorofila é importante para discriminação da vegetação;
0,76 – 0,90 μm	avaliação da biomassa e delimitação dos corpos d'água;
1,55 – 1,75 μm	útil para detectar teor de umidade em vegetação;
10,4 – 12,5 μm	infravermelho termal, sensível à mistura de solo e vegetação;
2,08 – 2,35 μm	apresenta sensibilidade à morfologia do terreno sobre a geomorfologia, solos e geologia.

Conhecendo-se algumas das características dos temas da região a ser estudada, pode-se determinar qual a faixa de ondas espectrais mais adequada e, conseqüentemente, os sistemas sensores mais adequados para o tipo de estudos que se deseja no ambiente.

3.1.1 Sistemas Sensores

NOVO (1989) define os sistemas sensores como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente.

Os sistemas sensores podem ser classificados quanto à fonte de energia utilizada, região do espectro em que operam e tipo de transformação sofrida pela radiação detectada.

Quanto ao tipo de fonte de energia utilizada, os sensores podem ser classificados em ativos ou passivos. Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida ou emitida pelos objetos da superfície. Os sensores ativos produzem sua própria radiação, como é o caso dos radares.

Na classificação em função do tipo de transformação sofrida pela radiação detectada, têm-se os sistemas não imageadores e os sistemas imageadores. Os sistemas não imageadores não fornecem uma imagem da superfície sensoriada, mas dados em forma de dígitos ou gráficos, úteis para aquisição de informações sobre o comportamento espectral dos objetos. Já os sistemas imageadores fornecem uma imagem da superfície observada.

Cada sensor possui características distintas quanto à resolução espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica.

A resolução espectral refere-se ao poder de resolução que o sensor possui para discriminar diferentes alvos na superfície terrestre, em função da largura da banda espectral em que o sensor opera (MOREIRA, 2001). A resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre objetos (NOVO, 1989). A resolução temporal é o intervalo de tempo que o satélite leva para cobrir novamente a mesma área de interesse. A radiação radiométrica refere-se à capacidade que o sensor tem de poder discriminar, numa área imageada, alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida (MOREIRA, 2001).

3.1.2 Sistemas Fotográficos

Segundo MOREIRA (2001), sensores fotográficos são todos os dispositivos que registram através de um sistema óptico, a energia refletida pelos alvos da superfície terrestre em uma película fotossensível, ou seja, no detetor chamado de filme fotográfico. Os sistemas fotográficos mais utilizados são aqueles aerotransportados. Esses sistemas podem ser classificados em dois tipos: os que utilizam câmeras métricas e os que são providos de câmeras de reconhecimento. As câmeras métricas são utilizadas com finalidade cartográfica, o que faz com que sua configuração adapte-se

para que as distorções geométricas sejam minimizadas. As câmeras de reconhecimento são utilizadas para identificação de objetos, para vigilância, sem preocupação com aquisição de dados quantitativos (distância, tamanho, etc) sobre os objetos imageados (NOVO, 2001).

As fotografias aéreas podem ser utilizadas em planejamento de área urbana, no mapeamento de solos, na cartografia, na identificação e mapeamento de uso de solo, na determinação de bacias hidrográficas, para fins militares e de cadastramento de imóveis, mapeamento de culturas agrícolas, etc.

A obtenção de informações a partir das fotografias aéreas é realizada através da fotointerpretação. A fotointerpretação é a análise das fotografias a fim de identificar objetos e seus significados (Sociedade Americana de Fotogrametria, 1960), envolvendo os processos de observação e interpretação (MOREIRA, 2001).

Algumas limitações são citadas por SEGANTINE (1988):

- deslocamento radial, a partir do centro da fotografia, gerando distorções, ou seja, distâncias e direções imprecisas;
- menores erros na porção central da fotografia;
- as elevações não são vistas em forma absoluta, gerando somente posições e alturas gerais de montes e vales;
- baixa confiabilidade na observação de fotografia submersa; e
- regiões planas recobertas por florestas densas, etc.

No processo de fotointerpretação, algumas características podem ser observadas, tais como:

- padrões;
- tonalidades e cores;
- formas e tamanhos;
- textura;
- sombra.

O padrão refere-se ao arranjo espacial ordenado de aspectos geológicos, topográficos ou de vegetação (SEGANTINE, 1988). As redes de drenagem apresentam padrões de fácil reconhecimento nas fotografias aéreas, podendo fornecer informações a respeito dos tipos de rochas e solos da área mapeada. Feições retilíneas e enxadrezadas

revelam a incidência de área urbana. A presença de carreadores representa a presença de culturas ou áreas de reflorestamento.

A tonalidade é um parâmetro qualitativo, que indica a presença de alvos de reflectâncias diferentes (MOREIRA, 2001). Porém, em fotografias monocromáticas, a tonalidade não deve ser o único critério a ser utilizado na fotointerpretação, pois diferentes feições podem apresentar tonalidades semelhantes. A cor é um parâmetro importante, pois os olhos estão mais habituados a observar objetos coloridos do que objetos em tons de cinza.

O conhecimento da forma dos objetos na superfície terrestre é outro parâmetro utilizado para identificação desde que associado a outras características. Uma dessas características é o tamanho. MOREIRA (2001) cita o exemplo das áreas agrícolas que possuem formas retangulares e bem definidas. Contudo o tamanho de uma área de plantio de cana-de-açúcar é diferente do de uma área hortícola. Podem-se discernir, através da forma, rios, córregos, áreas irrigadas, cidades etc.

A textura, conforme comenta MOREIRA (2001), é produzida através do agregamento de vários alvos que na sua individualidade não são detectados, podendo variar de lisa a rugosa, dependendo das características dos alvos, da resolução espacial e da escala.

As escalas das fotografias aéreas dependem basicamente da finalidade a que se destinam. A escala varia de acordo com a altura do vôo: quanto mais alto o avião voar, menor será a escala e o nível de detalhamento da verdade terrestre.

Além da fotografia aérea, são utilizadas as fotografias ortorretificadas, que possuem escala rigorosa e sem distorções, obtidas através da transformação das projeções cônicas em projeções ortogonais a partir de retificação diferencial das fotografias em instrumentos fotogramétricos denominados ortoprojetores.

3.1.3 Satélites de Observação da Superfície Terrestre

3.1.3.1 LANDSAT

O sistema LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) é composto por uma série de 5 satélites lançados em intervalos médios de 3 a 4 anos. Esse sistema foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e recebeu

inicialmente o nome de *Earth Resources Technology Satellite-1* (ERST-1) passando a ser chamado de LANDSAT em janeiro de 1975 (NOVO, 1989).

Nos três primeiros satélites LANDSAT (LANDSAT 1, LANDSAT 2 e LANDSAT 3), lançados respectivamente em 1972, 1975 e 1978, foram utilizados o sistema MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*) com o objetivo de coletar dados sobre recursos naturais renováveis e não renováveis da superfície terrestre. As características espectrais e espaciais das bandas do sensor MSS são mostradas no Quadro 2.

QUADRO 2 - Características espectrais e espaciais do sensor MSS.

Banda	Faixa Espectral (nm)	Região do Espectro	Resolução Espacial (m x m)
4	500-600	verde	80
5	600-700	vermelho	80
6	700-800	IV próximo	80
7	800-1100	IV próximo	80

Os satélites LANDSAT 4 e 5 passaram a contar com o sensor TM (*Thematic Mapper*) operando em 7 faixas espectrais, apresentando melhorias quanto a resoluções espectrais, espaciais, temporais e radiométricas. O sensor TM opera em 7 bandas do espectro eletromagnético, sendo: 3 bandas na região do visível, 3 bandas na região do infravermelho refletido e uma banda na região termal. A largura da faixa imageada é de 185 km. A resolução espacial para os sensores que operam nas regiões do visível e infravermelho refletido é de 30 m x 30 m, e para o sensor da região termal é de 120 m x 120 m (MOREIRA, 2001). As características espectrais e espaciais do sensor TM e algumas das aplicações do sensor TM são descritas no Quadro 3.

QUADRO 3 - Características espectrais, espaciais e aplicações do sensor TM.

Banda	Faixa espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m x m)	Principais aplicações
1	0,45-0,52	azul	30	<ul style="list-style-type: none"> • mapeamento de águas costeiras; • diferenciação entre solo e vegetação; e • diferenciação entre vegetação coníferas e decídua.
2	0,52-0,60	verde	30	<ul style="list-style-type: none"> • reflectância de vegetação verde sadia; e • sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão.
3	0,63-0,69	vermelho	30	<ul style="list-style-type: none"> • absorção da clorofila; • diferenciação de espécies vegetais; • mapeamento da drenagem através da visualização de mata galeria; e • delineamento da mancha urbana.
4	0,76-0,90	IV próximo	30	<ul style="list-style-type: none"> • levantamento da biomassa; • delineamento de corpos d'água; e • informações sobre a geomorfologia.
5	1,55-1,75	IV médio	30	<ul style="list-style-type: none"> • medidas de umidade da vegetação; e • diferenciação entre nuvens e neve.
6	10,40-12,50	IV Termal	120	<ul style="list-style-type: none"> • mapeamento de estresse térmico em plantas; e • outros mapeamentos térmicos.
7	2,08-2,35	IV médio	30	<ul style="list-style-type: none"> • mapeamento hidrotermal.

Fonte: Adaptado de MOREIRA (2001) e NOVO (1989).

No LANDSAT 7, lançado em 1999, foi adicionado um detetor que opera numa banda pancromática (0,52 μm a 0,90 μm) cuja resolução espacial é de 15 m x 15 m (MOREIRA, 2001), além da banda 7 apresentar intervalo espectral diferente do LANDSAT 4 e 5. As características espectrais e espaciais do sensor ETM+7 podem ser visualizadas no Quadro 4.

QUADRO 4 - Características espectrais e espaciais do sensor ETM+ do LANDSAT-7.

Banda	Faixa espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m x m)
1	0,45-0,52	azul	30
2	0,53-0,61	Verde	30
3	0,63-0,69	vermelho	30
4	0,76-0,90	IV próximo	30
5	1,55-1,75	IV médio	30
6	10,40-12,50	IV termal	120
7	2,09-2,35	IV médio	30
8 (PAN)	5,20-9,00	visível / IV próximo	15

Fonte: Modificado de MOREIRA (2001).

3.1.3.2 SPOT

O sistema SPOT (*Sistem e Proboitoire de Observation de la Terre*) é um programa espacial francês lançado em fevereiro de 1986. O sistema imageador presente nesta série de satélites é o HRV (*Haut Resolution Visible*), que opera em módulo espectral e pancromático. No módulo espectral, opera nas bandas XS1, XS2 e XS3, abrangendo as regiões do visível e do infravermelho próximo com resolução espacial de 20 m x 20 m. No módulo pancromático, a resolução espacial é de 10 m x 10 m. As características espaciais e espectrais podem ser observadas no Quadro 5, bem como algumas de suas aplicações. Ainda, segundo FONSECA FILHO (2001), o satélite SPOT permite a obtenção de pares estereoscópicos pela combinação de duas imagens da mesma região, obtidas durante órbitas diferentes com diferentes ângulos de observação.

QUADRO 5 - Características espectrais, espaciais e aplicações do sensor HRV.

Sensor	Faixa espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m x m)	Principais aplicações
XS1	0,50-0,59	verde	20	<ul style="list-style-type: none"> • sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão; e • boa penetração em corpos d'águas.
XS2	0,61-0,68	vermelho	20	<ul style="list-style-type: none"> • contraste entre áreas ocupadas com vegetação e áreas sem vegetação, devido a grande absorção da vegetação verde, densa e uniforme; • mapeamento de drenagem através da visualização da mata ciliar; • delineamento de áreas urbanas; e • identificação de áreas agrícolas.
XS3	0,79-0,89	IV próximo	20	<ul style="list-style-type: none"> • mapeamento e delineamento de corpos d'águas; • obtenção de informações sobre solos; e • geomorfologia e geologia.
PAN	0,51-0,73	visível / IV próximo	10	<ul style="list-style-type: none"> • aplicações que necessitem de precisão geométrica e melhor resolução.

3.1.4 Comportamento Espectral dos Alvos

Segundo NOVO (2001), “comportamento espectral de um material (alvo) da superfície terrestre pode ser conceituado como o conjunto de reações que o alvo apresenta ao interagir com a radiação eletromagnética sob determinadas condições de contorno”. O comportamento espectral do alvo não é função apenas das características intrínsecas do objeto da superfície terrestre, mas de todos os fatores envolventes no modo como a imagem é obtida e ainda das condições que o ambiente apresentava no momento da obtenção da imagem.

Para entender como ocorre a interação entre objeto e energia eletromagnética, é necessário compreender que a energia luminosa ao atingir o alvo na superfície terrestre pode ser absorvida total ou parcialmente, refletida ou transmitida através da superfície. O sensor para obter a imagem desejada utiliza-se da porção do fluxo radiante refletido pelo alvo.

A seguir será realizada uma breve explanação referente aos aspectos dos comportamentos espectrais de alguns alvos da superfície terrestre na região do espectro visível e infravermelho.

3.1.4.1 Solo

Para NOVO (2001), “o solo é um material extremamente complexo, com propriedades químicas e físicas bastante variáveis, e cuja distribuição horizontal e vertical depende das rochas que lhe deram origem e da decomposição da matéria orgânica depositada pela fauna e flora”.

MOREIRA (2001) comenta a respeito dos parâmetros que influenciam a reflectância dos solos. Para o autor, os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria, a mineralogia da argila, o material de origem são alguns desses parâmetros.

Segundo MOREIRA (2001), “os óxidos de ferro absorvem bastante a energia eletromagnética da região do infravermelho próximo (com máxima absorção em torno de $0,90 \mu\text{m}$)”.

NOVO (2001) discute a influência da matéria orgânica nos solos, cuja reflectância dos solos com baixos teores de ferro aumenta ao longo do espectro ao se

remover a matéria orgânica. Em solos com teores relativamente altos em ferro e sem minerais opacos a remoção da matéria orgânica só afeta a reflectância em comprimento de ondas superiores a 0,06 μm . Contudo, em solos escuros, com alto teor de ferro e materiais opacos, a reflectância é afetada pela eliminação da matéria orgânica.

Quanto à umidade, a presença de água no solo aumenta a absorção de radiação eletromagnética, de modo que a reflectância do solo decresça na região do visível e do infravermelho próximo, comparado ao seu estado seco (MOREIRA, 2001).

Todos esses fatores acima citados estão fortemente correlacionados, tornando a interpretação dos dados bastante difícil, pois os efeitos das propriedades do solo sobre a reflectância são cumulativos (NOVO, 2001 e MOREIRA, 2001).

3.1.4.2 Água

Para NOVO (2001), quando se estuda o comportamento espectral da água procuram-se perceber os componentes que se encontram nela dissolvidos ou suspensos.

A presença do fitoplâncton e de matéria orgânica nos ecossistemas aquáticos é responsável por parte da absorção e espalhamento da radiação solar e determina, até certo ponto, as propriedades ópticas da água (MOREIRA, 2001).

Com o aumento da concentração da matéria orgânica na água, aumenta-se a absorção de energia pela mesma, acarretando uma diminuição da reflectância na região espectral do visível.

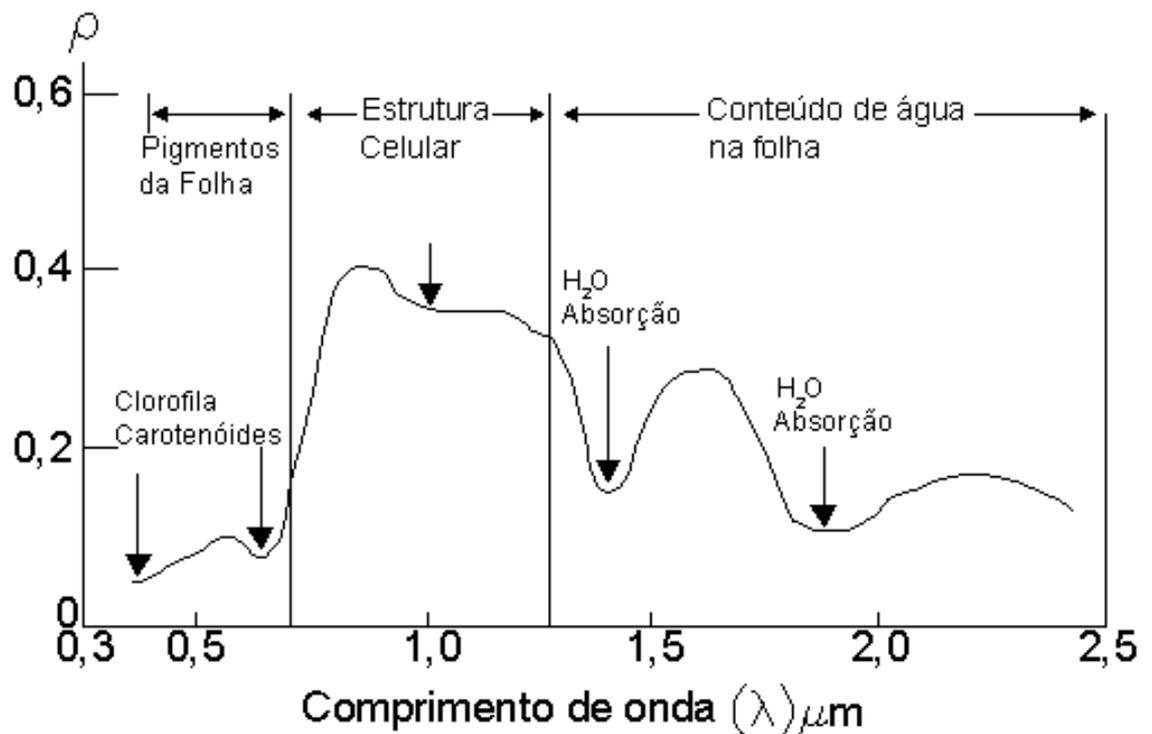
Outros componentes que interferem na absorção de energia pela água é a presença de partículas minerais inorgânicas carregadas pela chuva, ventos, assoreamento do corpo d'água.

3.1.4.3 Vegetação

MOREIRA (2001) descreve que a maior parte da radiação do espectro visível que atinge o dossel vegetativo é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes (clorofila "a", "b", caretenóides, xantolinas e antocianinas) no mesófilo das plantas. No espectro do Infravermelho, o comportamento espectral da vegetação é influenciado pelas propriedades ópticas da folha, como também pela quantidade de água presente na folha.

FONSECA FILHO (2001) discute a curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa, representada na Figura 4. O gráfico pode ser dividido em três regiões espectrais que percebem características diferentes da vegetação:

- 1) até 0,7 μm : A reflectância é baixa, devido à grande absorção da radiação eletromagnética incidente pelos pigmentos da planta (carotenóides e clorofila);
- 2) de 0,7 a 1,3 μm : tem-se uma região de alta reflectância da vegetação verificada pela interferência da estrutura celular;
- 3) de 1,3 a 2,5 μm : tem-se uma região onde a reflectância da vegetação responde pelo conteúdo de água das folhas.



Fonte: NOVO (2001)

FIGURA 4 - Comportamento espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa

Tudo o que foi descrito anteriormente refere-se ao comportamento de uma folha, fornecendo informações para poder analisar a resposta espectral do dossel vegetativo².

² Dossel vegetativo é um arranjo de indivíduos de uma mesma espécie ou de espécie distintas num determinado espaço. Dessa forma, o dossel não é constituído apenas de folhas, mas também de galhos, frutos e flores, além de possuírem características diferentes referentes às propriedades ópticas, estruturais, morfológicas, geométricas, estágio fenológico e parâmetros ambientais (NOVO, 2001).

3.1.5 Classificação Multiespectral

Quando são realizadas classificações espectrais a partir de uma imagem orbital, o *pixel* dessa imagem é associado a um atributo representado por um objeto real na superfície terrestre. Os valores digitais dos *pixels* definidos pela sua reflectância são associados aos temas imageados pelos sensores.

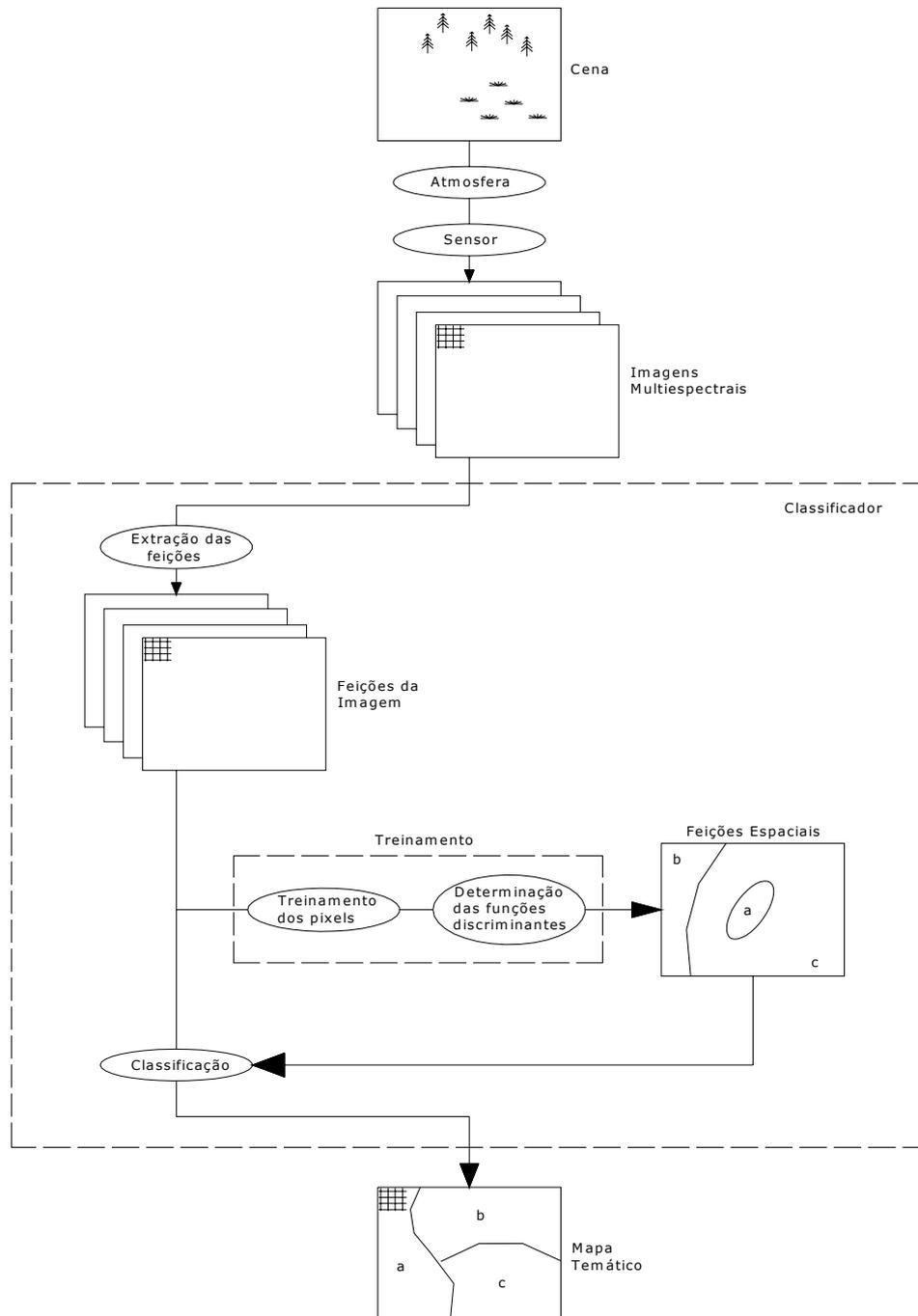
Segundo CROSTA (1992), essa atribuição é feita com base em observações no *pixel* em si e na sua vizinhança, utilizando-se de uma série de regras. Para o INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002), os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

Quando os *pixels* de uma cena são associados aos objetos na superfície terrestre, tem-se a distribuição dos temas na cena, resultando, assim, num mapeamento temático.

Conforme SCHOWENGERDI (1997), a classificação temática de imagem envolve algumas etapas que serão descritas a seguir e mostradas na Figura 5:

- obtenção das feições terrestres: transforma a imagem multiespectral em informações espaciais;
- treinamento: extração de *pixels* a serem utilizados para treinamento do classificador para organizar as categorias ou classes; e
- classificação: aplicação das funções para retratar as feições da imagem e classificar todos os *pixels*.

As técnicas de classificação multiespectral podem ser divididas em três conjuntos: técnicas de classificação supervisionada, de classificação não-supervisionada e de classificação híbrida.



Fonte: SCHOWENGERDI (1997)

FIGURA 5 – Etapas da Classificação Temática

3.1.5.1 Classificação Supervisionada

Classificação supervisionada consiste na identificação de alguns *pixels* pertencentes à classe desejada por parte do usuário enquanto o computador identifica a posição dos demais *pixels* pertencentes a determinada classe, fundamentada em alguma regra estatística pré-estabelecida. Nesse caso, o usuário deve conhecer a verdade terrestre de antemão, pois ele será responsável por fornecer parâmetros ao algoritmo de classificação para realização da mesma.

Para fornecer as informações da verdade terrestre, o usuário identifica as áreas de treinamento que contêm as características de cada classe, ou seja, o comportamento espectral dos alvos. Essas áreas de treinamento são obtidas diretamente através da delimitação das áreas no monitor.

Para realização da classificação, alguns métodos são utilizados, como, por exemplo, o método do paralelepípedo, da distância mínima e da máxima verossimilhança.

Segundo CROSTA (1992), o método do paralelepípedo é um método determinístico e considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento. Por sua vez, a área considerada tem a forma de um quadrado ou paralelepípedo definido pelo DN máximo e mínimo do conjunto de treinamento. A classificação é determinística, na qual o pixel é associado a uma determinada classe quando os valores de cinza estiverem contidos nos intervalos de cinza determinados para cada banda, na área fornecida pelo analista para o treinamento do sistema (MOREIRA, 2001). Nesse método, o analista treina o classificador apenas para uma classe de cada vez.

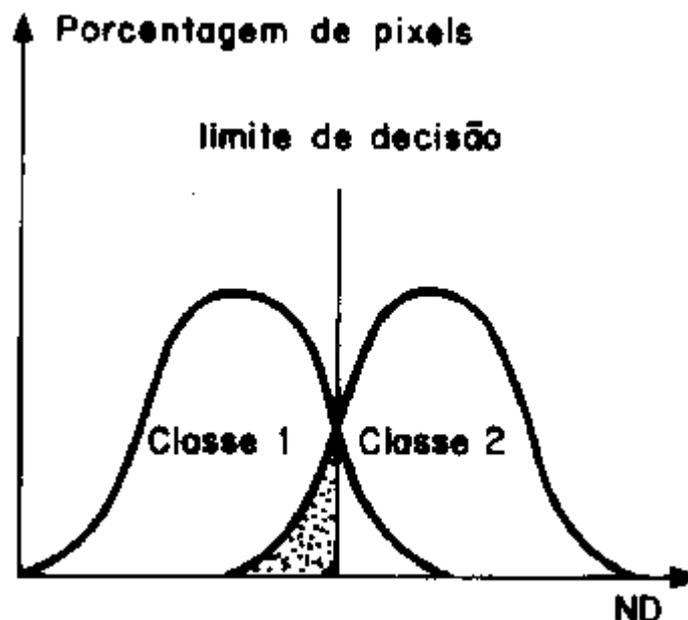
O método da máxima verossimilhança (MAXVER) é um método probabilístico em que a distribuição espectral é considerada como tendo uma distribuição normal, ou seja, gaussiana. Assim, segundo MOREIRA (2001), para uma dada classe, a variação na resposta espectral tem um comportamento gaussiano, isto é, muitos dos elementos da classe apresentarão respostas espectrais em torno da média.

De acordo com NOVO (2001), a classificação probabilística baseia-se no pressuposto de que cada classe espectral pode ser descrita por uma distribuição de probabilidade no espaço multitemporal.

Conforme MOREIRA (2001), no MAXVER o analista fornece ao sistema informações espectrais de todos os alvos contidos na área de estudo, e para cada alvo é criada uma classe espectral. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Segundo CROSTA (1992), o método MAXVER, bem como os outros métodos de classificação supervisionada, parte do princípio de que o usuário conheça o bastante da região imageada a ser classificada para poder definir classes que sejam representativas.

Segundo o INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002), os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe. A Figura 6 apresenta, ainda, o limite de aceitação de uma classificação, no ponto em que as duas distribuições se cruzam. Dessa forma, um "pixel" localizado na região sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de aceitação estabelecido.



Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002)

FIGURA 6 - Limite de aceitação de uma classificação.

O limiar de aceitação indica a porcentagem de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a essa classe. Um

limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "*pixels*", sendo que 1% será ignorado (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "*pixels*" terem sido introduzidos, durante o treinamento, por engano, nessa classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os "*pixels*" serão classificados (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

3.1.5.2 Classificação não-supervisionada

A técnica de classificação não-supervisionada baseia-se no princípio de que o software utilizado para o processamento do algoritmo classificador é capaz de identificar, por si só, as classes de um conjunto de dados (CROSTA, 1992). Nesse caso, o analista tem pouco controle sobre a separação das classes, eliminando assim a subjetividade no processo de obtenção das amostras da área para o treinamento do classificador.

Embora não seja necessário que o analista forneça as áreas de treinamento, ele deve fornecer alguns parâmetros ao sistema. MOREIRA (2001) comenta a respeito do classificador K-médias e os parâmetros que o analista deve fornecer ao algoritmo. Os parâmetros citados são os seguintes:

- o número de classes espectrais prováveis dentro da área de estudo;
- a distância mínima entre os valores de níveis digitais de duas classes;
- número de iterações realizadas, ou seja, quantas vezes o classificador deve repetir a operação de análise do *pixel* em relação aos atributos das classes contidas na área.

A partir desses parâmetros de entrada, o sistema realiza o agrupamento ("*clustering*") dos *pixels* homogêneos em n classes espectrais.

Esses algoritmos de agrupamento determinam o agrupamento dos dados com características dentro dos parâmetros estabelecidos, definindo as "nuvens" ("*clusters*") que serão utilizadas como áreas de treinamento para a classificação.

Uma das vantagens da utilização da classificação não-supervisionada é o fato do analista não necessitar conhecer previamente a região a ser estudada.

3.1.5.3 Classificação Híbrida

A classificação híbrida consiste na utilização prévia da classificação não-supervisionada para obtenção dos diferentes grupos de níveis digitais da área de estudo, para melhor definir, assim, melhor definir as áreas de treinamento para a classificação supervisionada.

3.1.6 Análise Digital de Dados Multitemporais

Para NOVO (1989), “a análise multitemporal consiste na manipulação de dados tomados em diferentes datas, utilizando imagens de um mesmo canal”.

Ainda segundo Novo, para que seja possível a análise de dados multitemporais, é necessário que haja uma quase perfeita superposição dos *pixels* de uma cena na data 1 com a cena da data 2. Para isso, utiliza-se do registro de imagens.

O registro de imagens pode ser utilizado em análise comparativa entre imagens multitemporais, na combinação de imagens de diferentes sensores sobre uma mesma área e mosaico de imagens. O INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002) considera o registro de imagens como “a transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagens (linha e coluna) com coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (aeronave ou satélite)”.

Para realizar o registro da imagem deve-se obter pontos de controle, ou seja, pontos confiáveis como cruzamento de estradas, confluências de rios, cidades etc, cujas coordenadas possam ser obtidas através de cartas e mapas.

3.2 Sistemas de Informação Geográfica

Segundo CÂMARA (1996), os sistemas de Informação Geográfica configuram-se como ferramentas computacionais do Geoprocessamento, permitindo a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georeferenciados. Entende-se como Geoprocessamento a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas.

Os sistemas de Informação Geográfica constituem uma ferramenta importante de uso interdisciplinar para obtenção de informações e tomada de decisões. Assim, o SIG é utilizado por profissionais de geografia, planejamento urbano, engenharia, processamento de dados, arquitetura, ciências ambientais, ciências sociais, entre outras.

Nesse contexto, CÂMARA (1996) define SIG como sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos ou fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los. Outras definições podem ser encontradas em HUXHOLD (1991), MARTIN (1991), EASTMAN (1997), CHRISTOFOLETTI (2001), entre outros.

Para MENDES (2001), o SIG se insere como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais, em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Tais manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (por exemplo: imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solos, etc) e diferentes escalas. O resultado dessas manipulações, geralmente, é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

A possibilidade do SIG em integrar informações de diferentes fontes e níveis de responsabilidade permite agregar fatores sociais, econômicos e ambientais no processo de tomada de decisões, possibilitando planejar a região de uma maneira que garanta seu desenvolvimento adequado.

CHRISTOFOLETTI (2001) descreve alguns requisitos para o desenvolvimento de sistemas de tomadas de decisões:

- propiciar informações e conhecimentos completos, fidedignos e atuais, processados de forma adequada, no tocante ao estado do meio ambiente sobre uma área ou região específica;
- propiciar suporte firme para as decisões estratégicas e/ou ações operativas necessárias à prevenção ou redução dos efeitos adversos ou negativos sobre o meio ambiente; e
- propiciar dados e informações necessárias para avaliar ajustagem com a legislação vigente para a proteção ambiental.

Segundo QUEIROZ (1996), devido à capacidade dos SIG's de atualizar, analisar e apresentar dados espaciais de forma bastante eficiente, de modo compacto e que podem ser acessados rapidamente, o interesse por essa tecnologia na área de planejamento dos recursos naturais está muito difundido.

Ainda, de acordo com Queiroz, é essencial que se entenda que o SIG é um meio, uma ferramenta e não um fim. A determinação das metas a serem atingidas, às quais o SIG deverá dar suporte, precede a sua implantação.

Dessa forma, um SIG é uma importante ferramenta para o apoio à tomada de decisões, pois permite integrar informações de diferentes atividades a fim de propor soluções para planejamento das cidades e sua relação com os recursos naturais do local.

MENDES (2001) discute a utilização de SIG para gerenciamento dos recursos hídricos. Segundo ele, o gerenciamento de recursos hídricos depende de informações, temporais e espaciais, bastante precisas. Modelos matemáticos, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento globais e dados de campo são as ferramentas de coleta de dados espaciais que constituem, em conjunto com os sistemas de informações geográficos utilizados para gerenciar e manipular estes dados, métodos eficientes para o gerenciamento de recursos hídricos.

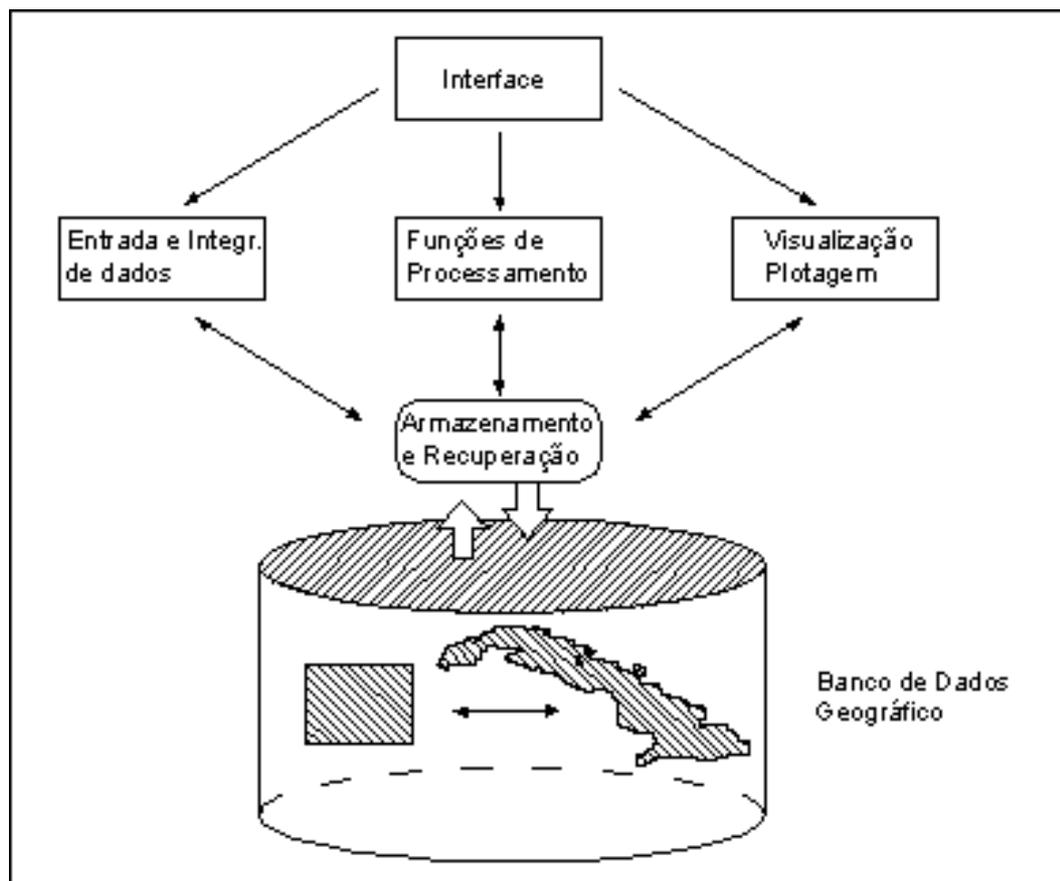
CÂMARA & MEDEIROS (1996) descrevem a estrutura geral de um SIG, indicando os componentes em seguida e como se relacionam através da Figura 7.

- interface com o usuário;
- entrada e integração de dados;
- funções de processamento gráfico e de imagens;
- visualização e impressão;
- armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

A interface consiste na interação entre o usuário e o sistema, atualmente expressa na forma de menus de comando.

A entrada de dados refere-se às formas de aquisição de dados espaciais contidos em mapas, fotografias, imagens de satélites, dados de campo, dados digitalizados etc (MOREIRA, 2001). Essa aquisição pode ser feita via teclado, digitalização em mesa, *scanners* e através de dados de outros meios digitais.

No processamento podem ser citados as operações relativas às análises geográficas (superposição, ponderação, medidas), processamento digital de imagens (retificação, contraste, filtragem, realce e classificação), modelagem numérica de terrenos (cartas de declividade, cálculo de volume, análise de perfis), redes (caminho ótimo, caminhos críticos e ligações topológicas) e consultas espaciais ou não-espaciais.



Fonte: Câmara (1996)

FIGURA 7 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.

A visualização consiste na apresentação das informações relativas às consultas feitas ao sistema pelo usuário através do monitor, mapas digitais e analógicos, tabelas e gráficos.

Nos mapas gerados podem ser citados os mapas temáticos e cadastrais. Para CÂMARA & MEDEIROS (1996), nos mapas temáticos é visualizada uma região geográfica particionada em polígonos, segundo os valores relativos a um tema,

resultado de funções de análise e classificação de dados, e que não correspondem a elementos identificáveis do mundo real. Já os mapas cadastrais apresentam os objetos identificáveis no meio real, com atributos associados à localização dos mesmos.

O armazenamento é realizado através de banco de dados geográficos e a recuperação dos dados é obtida por meio de mecanismos de seleção e consulta ao banco de dados. Os bancos de dados geográficos (BDO) caracterizam-se por armazenar dados sobre a localização das atividades, além de seus dados alfanuméricos.

3.2.1 Formas de Representação de Dados

Os dados em um SIG podem ter duas representações: vetorial e matricial (*raster*).

Segundo EASTMAN (1997), numa representação matricial, a área de estudo é subdividida em uma fina malha de células de grade, nas quais são registradas as condições ou atributos da superfície terrestre naquele ponto.

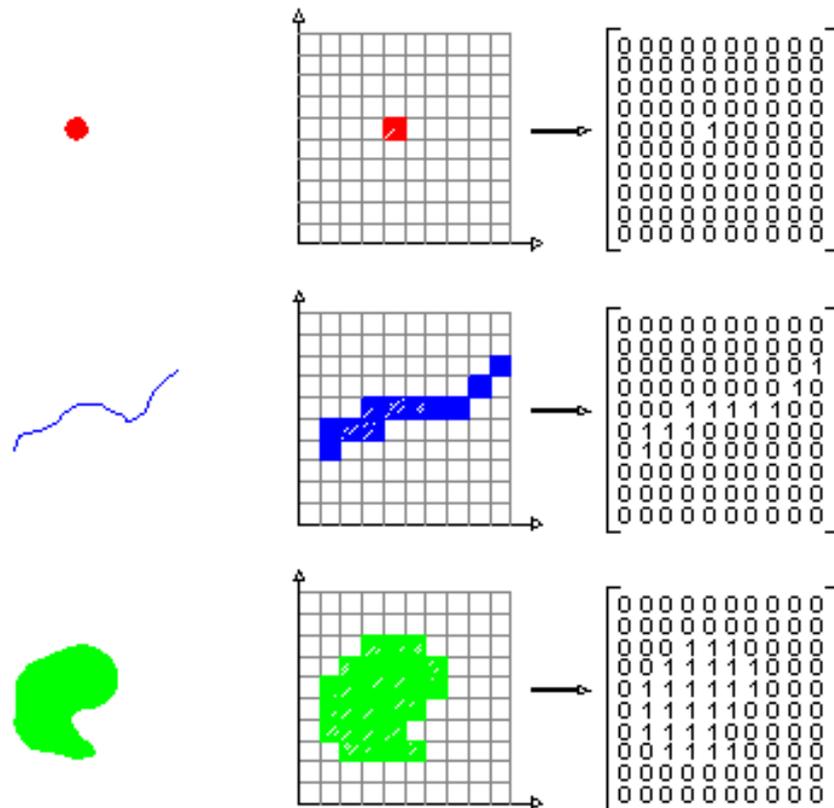
O sistema matricial possibilita uma estruturação digital de dados simplificada, parecida com a arquitetura dos computadores digitais e a combinação de dados entre imagem de sensoriamento remoto e mapas temáticos, podendo ser utilizado em modelos ambientais.

O INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002) define o formato matricial ou varredura (ou ainda "*raster*") como um conjunto de células localizadas em coordenadas contíguas, implementadas em uma matriz 2D. Cada célula, também chamada elemento de imagem, elemento de matriz ou "*pixel*", é referenciada por índices de linha e coluna e contém um número representando o tipo ou valor do atributo mapeado.

Para QUEIROZ (1996), no formato matricial, o espaço geográfico é dividido segundo um sistema de células regulares, normalmente quadradas, sendo o conteúdo de cada célula descrito pelo banco de dados. Isso significa que a informação geográfica no espaço é discretizada, perdendo em exatidão e detalhes, mas ganhando em facilidade de manipulação no ambiente computacional, uma vez que a estrutura de armazenamento de dados por matrizes é adequada à estrutura matemática computacional. Além disso, como as imagens de sensoriamento remoto utilizam também a forma matricial para

armazenamento dos dados, sua interação com sistemas que se utilizam desse formato é perfeitamente viável.

GREGÓRIO (2000) cita a maneira com que Rodrigues³ (1990) comenta a estrutura matricial de ponto, linha e área, demonstrados na Figura 8.



Fonte: Adaptado de Gregório (2000).

FIGURA 8 - Estrutura matricial de ponto, linha e área.

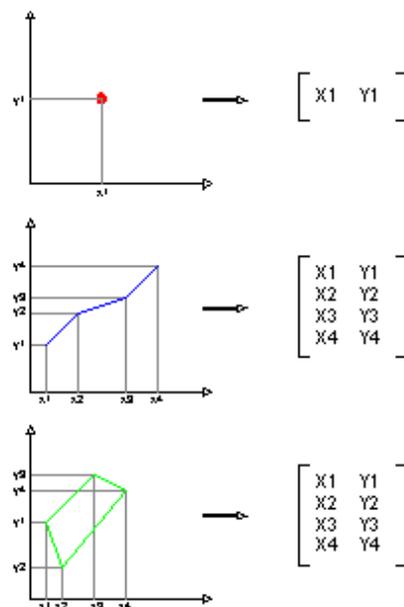
LIPORACI (1999) comenta que em estudos ambientais a estrutura matricial é mais apropriada para avaliações que envolvam dados generalizados e áreas geográficas maiores, onde a complexidade temática e analítica é mais importante. Essa análise oferece vantagens significativas sobre a análise topológica para grande quantidade de dados. As formas de análise matricial incluem sobreposição, zoneamento, proximidade, classificação e geração de superfícies.

³ RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 1990. Anais. São Paulo: POLI/Universidade de São Paulo, 1990.

Complementando o que Liporaci citou, QUEIROZ (1996) comenta que a estrutura matricial é excelente para estimativa e simulações de cenários devido a sua grande capacidade de fazer sobreposições de mapas e combinações matemáticas de dados em células múltiplas, o que justifica sua extensa utilização em modelos ambientais.

Segundo EASTMAN (1997), com a representação vetorial os limites ou o curso das feições são definidos por uma série de pontos que formam, quando unidos com linhas retas, a representação gráfica de cada feição. A representação vetorial é a maneira mais precisa de se representar um objeto geográfico. GREGÓRIO (2000), através da Figura 9, demonstra como são representados pontos, linhas e polígonos na estrutura vetorial. Ainda conforme MOREIRA (2001), no modelo vetorial, a localização e as feições de cada objeto são representados por meio de coordenadas.

QUEIROZ (1996) caracteriza o modelo vetorial pela locação precisa dos objetos geográficos através de coordenadas, sendo os objetos representados por pontos, linhas ou polígonos. O formato vetorial tem como principais vantagens a sua excelente precisão matemática, fazendo com que os contornos dos objetos sejam bem definidos e haja economia de espaço no armazenamento de informações. Apresenta, porém, a desvantagem em promover operações algébricas e sobreposição de mapas.



Fonte: Adaptado de Gregório (2000).

FIGURA 9 - Estrutura vetorial de ponto, arco e polígono.

3.2.2 Integração entre SIG e Sensoriamento Remoto

DUPAS (2001) utilizou recursos de imagens aéreas e orbitais e suas aplicações com SIG na determinação de vetores de crescimento para a cidade de São Carlos-SP, no período de 1961 até 1988. Nessa pesquisa, foram utilizadas fotografias aéreas do ano de 1962/1963 e 1971/1972 e imagens orbitais LANDSAT de 1986 e 1998, integradas no SIG. O autor conclui que a integração entre SIG e sensoriamento remoto possibilita visão sinótica dos problemas e, assim, demonstrar que a técnica utilizada auxilia ao gestor ambiental, oferecendo acesso a informações importantes para decisão sobre o ambiente urbano e suburbano.

GREGÓRIO (2000) aplicou as técnicas de sensoriamento remoto associadas a um SIG para o mapeamento da cobertura e uso do solo, em uma área localizada no município de Campinas, para verificar se a área de preservação permanente está sendo respeitada conforme legislação vigente. Para isso, o autor utilizou imagens do sensor TM e imagem pancromática do sensor HRV.

TABACZENSKI (1995) avaliou a aplicação do SIG como instrumento para realização de estudos ambientais, particularmente para subsidiar o macrozoneamento de uma determinada região.

MEDILHINA (1999) procurou identificar a influência da expansão urbana sobre a mata ciliar e analisar os principais impactos que o desmatamento dessa vegetação causa sobre os recursos hídricos, estudando a porção do rio Corumbataí que contempla o ambiente urbano da cidade de Rio Claro-SP. Nessa pesquisa, a autora utilizou fotografias aéreas para digitalização das feições da vegetação ciliar.

DUPAS (1997) utilizou SIG e imagens orbitais (sensores TM e HRV) para identificar, avaliar e analisar as causas dos impactos do meio ambiente físico de mineração, utilizando estudo multitemporal temático de 1982 a 1995, em uma mina localizada na Amazônia.

COLLARES (2000) usou imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para caracterização das atividades antrópicas e das variáveis morfométricas das redes de drenagem de microbacias, com um intervalo de 23 anos. Nesse trabalho, as imagens de satélite Landsat-TM constituíram instrumento satisfatório na obtenção de um mapa de uso e ocupação em escala regional. Para a definição da rede

de drenagem da bacia estudada, foram utilizados pares estereoscópios de fotografias aéreas, por possuírem melhor resolução espacial.

ALENCAR (1996) analisou multitemporalmente o uso do solo e a mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia Oriental, utilizando imagens Landsat-TM de 1984 e 1991.

COSTA & CINTRA (1998) analisaram a área metropolitana de Belo Horizonte , MG, desenvolvendo um modelo de meio ambiente através da utilização de alguns aspectos físicos, integrando dados e técnicas de sensoriamento remoto e a tecnologia do SIG, de forma a possibilitar uma avaliação das potencialidades físicas da área de ocupação humana. Nesse trabalho foi utilizada imagem orbital Landsat-TM.

COSTA & SANCHES (2001) detectaram e avaliaram as mudanças ocorridas no espaço urbano da cidade de São José dos Campos, SP, analisando também, sob o ponto de vista ambiental, como uma consequência do processo de crescimento urbano utilizando geotecnologias. Foram utilizadas nessa pesquisa fotografias aéreas de 1953, 1962, 1973 e 1985 e imagem SPOT Pan de 1997.

CHAO (1998) pesquisou a evolução da ocupação urbana na Província de Habana, Cuba, entre os períodos de 1956 e 1996. Para caracterização do ano de 1956, foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:62000; para o ano de 1987, foi utilizada imagem XS SPOT; e para 1996, foi utilizada imagem Landsat-TM.

ROCHA & FORESTI (1998) analisou a estrutura urbana e os problemas ambientais da cidade de Iguape, SP, utilizando fotografias aéreas na escala 1:25000 de dois períodos de tempos (1962 e 1991) e imagem de satélite Landsat-TM do ano de 1994. Através da utilização das fotografias aéreas e da imagem de satélite, foi possível detectar as tendências do crescimento e a forma como o desenho urbano se alterou no período estudado.

JESUS (2000) estudou a relação entre a morfologia e a evolução do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Anhanduí, MS, entre 1988 e 1998, aplicando técnicas de sensoriamento remoto e SIG. Nessa pesquisa utilizou-se imagem Landsat 5 para os anos de 1988 e 1998 e o software SPRING.

CASTRO (1992) avaliou multitemporalmente padrões de expectativas de perdas de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito, localizada na região central do estado de São Paulo. Nesse trabalho foi analisada a utilização integrada dos sistemas de

processamento digital de imagens e de SIG no estudo de bacias hidrográficas. Para isso, foram utilizadas fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 e 1:40.000 e imagem Landsat 5.

PRADO (1999) estudou uma metodologia para a determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. O SIG foi utilizado para digitalização, manipulação e sobreposição de mapas. As imagens de satélite Landsat 5 foram empregadas para atualização dos dados relativos ao uso e ocupação do solo.

QUEIROZ (1996) analisou a influência da urbanização sobre os processos intervenientes no escoamento superficial, com a finalidade de formar um Sistema de Suporte a Decisão aplicável ao planejamento urbano. O SIG foi utilizado para compilar as características físicas da bacia hidrográfica como processador de dados de entrada para a modelagem hidrológica e formação de novos cenários da urbanização da área de estudo.

SIMÃO JUNIOR (2001) utilizou SIG como ferramenta de auxílio na recuperação de áreas degradadas, pesquisando o desenvolvimento de elementos para o planejamento da drenagem superficial de áreas mineradas, através da identificação de micro-bacias vulneráveis a drenagem.

GRECCHI (1998) realizou um zoneamento ambiental para a região de Piracicaba, SP, com base na análise de variáveis ambientais, principalmente de atributos do meio físico. Para a elaboração da pesquisa, foram utilizados SIG e processamento digital de imagens de satélite.

OLIVEIRA (1998) propôs uma metodologia para cálculo da largura da mata ciliar necessária para conter a poluição transportada pelo escoamento superficial e subsuperficial, utilizando SIG.

SOUZA (1998) desenvolveu uma proposta de zoneamento para distritos industriais, com o objetivo de inserir o meio ambiente nos processos de tomada de decisão para o estabelecimento de usos e ocupação do solo, utilizando o SIG.

3.3 A Urbanização e o Desenvolvimento Sustentável

Segundo MOTA (1999), o planejamento urbano tem sido usado como uma forma de ordenar o crescimento das cidades, de modo a minimizar os problemas decorrentes da urbanização. Dessa forma, o planejamento deve garantir um meio

ambiente que proporcione uma qualidade de vida indispensável a seus habitantes atuais e futuros.

O mesmo autor comenta que a disciplina do uso do solo urbano constitui uma importante ferramenta nesse processo de ordenação. O zoneamento, com a definição de usos preponderantes, compatíveis ou indesejáveis para as diversas áreas de uma cidade, pode resultar numa adequada distribuição de atividades, evitando-se, ao máximo, efeitos negativos sobre o ambiente de vida de seus habitantes. A distribuição desses usos se faz de forma variada, em função das peculiaridades de cada cidade, e resulta normalmente, em alterações do ambiente urbano.

Ainda, essas alterações, independentes de seu tamanho, provocam desequilíbrios que podem resultar na poluição dos recursos do solo, ar e água, com prejuízos para a população. Com o crescimento acelerado das cidades, as necessidades desse ecossistema urbano aumentam, também rapidamente, e o seu atendimento é feito à partir de modificações ambientais, com prejuízo para o próprio meio.

No atual estágio de degradação do ambiente urbano, as gerações vindouras terão enormes dificuldades quanto à utilização dos recursos naturais, como água para abastecimento das cidades e tratamentos dos corpos d'águas.

Dessa maneira, a cidade urbaniza-se sem atender ao conceito de desenvolvimento sustentável. Segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades.

No ano de 1992, foi realizada na cidade do Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, organizada pela ONU (Organização das Nações Unidas), na qual foi discutido como seria possível os países e as comunidades continuarem se desenvolvendo com maior justiça social e sem provocar danos ao meio ambiente. Nessa conferência foi criado um documento conhecido como Agenda 21 que serve como guia para o desenvolvimento sustentável. Para PEREIRA (2000), a Agenda 21 é um documento que cria um modelo, através de uma proposta metodológica de gestão pública, segundo a qual estabelece, de forma explícita, que as ações ambientais deixam de ser setoriais para passarem a ter uma visão global, perpassando horizontalmente toda a gestão. Ressalta-se, ainda, a importância da

Agenda 21 Local para o desenvolvimento sustentável das comunidades que utilizam e necessitam dos recursos naturais para sua sobrevivência e que precisam ser conscientizadas da importância da preservação dos mesmos.

Para CHRISTOFOLETTI (1999), a meta fundamental do desenvolvimento sustentável consiste em orientar decisões visando a utilizar adequadamente os recursos naturais, a fim de manter condições favoráveis para a qualidade de vida das gerações futuras, de modo que não sejam menores que as herdadas das gerações passadas.

Conforme MARCONDES (1999), o conceito de sustentabilidade ecológica está vinculado às idéias de recomposição dos recursos renováveis, à capacidade de absorção pelo meio ambiente das taxas de poluição e à garantia de manutenção dos recursos renováveis às gerações futuras.

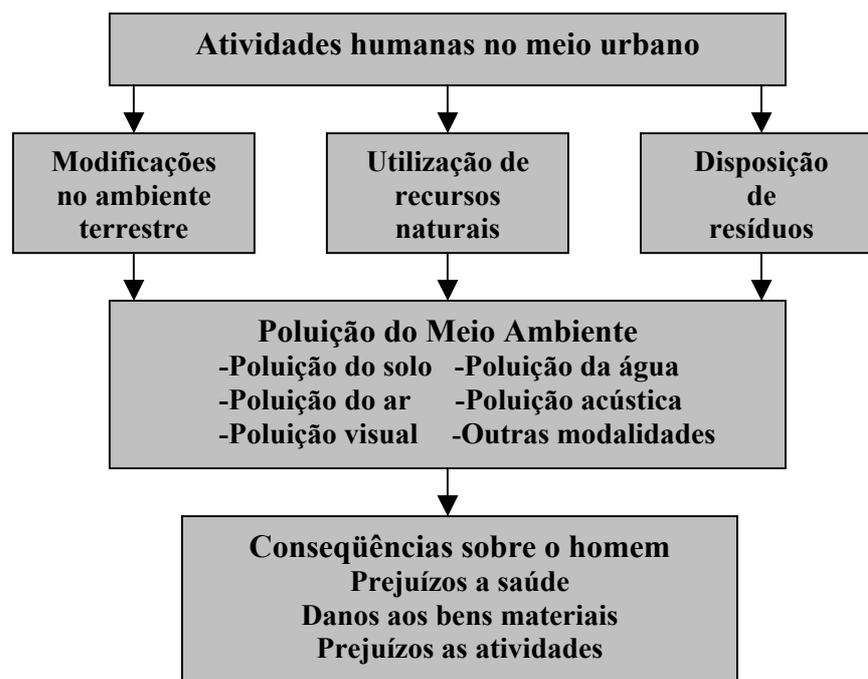
MOTA (1999) esclarece que compete ao homem a ocupação ordenada do solo, com a utilização racional do ambiente físico, de forma a garantir um ecossistema urbano equilibrado, que lhe ofereça as melhores condições de vida. Ainda, o planejamento urbano não deve se limitar à cidade, mas vincular-se ao meio rural e à região onde está inserida, pois os recursos ambientais a serem considerados no planejamento muitas vezes extrapolam os seus limites, integrando uma bacia hidrográfica ou uma região mais ampla. A tomada da bacia hidrográfica como unidade básica de gestão ambiental é um importante passo para promoção da sustentabilidade de uma região. Assim, o cuidado com os recursos hídricos não deve limitar-se ao gerenciamento isolado dos mesmos, mas de toda uma região que possui vínculo com esse recurso natural.

A Agenda 21, em seu capítulo 18, “PROTEÇÃO DA QUALIDADE E DO ABASTECIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS INTEGRADOS NO DESENVOLVIMENTO, MANEJO E USO DOS RECURSOS HÍDRICOS”, comenta a respeito dos recursos hídricos e salienta que o objetivo geral desse tópico é assegurar a manutenção de uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preservem as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza e combatendo vetores de moléstias relacionadas com a água. Tecnologias inovadoras, inclusive o aperfeiçoamento de tecnologias nativas, são necessárias para aproveitar plenamente os recursos hídricos limitados e protegê-los da poluição. Deve-se, ainda, reconhecer o caráter multissetorial

do desenvolvimento dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento sócio-econômico, bem como os interesses múltiplos na utilização desses recursos para o abastecimento de água potável e saneamento, agricultura, indústria, desenvolvimento urbano, geração de energia hidroelétrica, pesqueiros de águas interiores, transporte, recreação, manejo de terras baixas e planícies e outras atividades.

3.3.1 Impactos nos recursos hídricos superficiais

Como foi comentado no item anterior, a atividade antrópica no meio urbano, quando não realizada de maneira ordenada, pode acarretar alterações no meio ambiente, podendo causar a poluição dos recursos naturais. MOTA (1999), na Figura 10, retrata a relação entre a atividade humana, poluição e conseqüências sobre o homem.



Fonte: MOTA (1999).

FIGURA 10: Atividades humanas no meio urbano e a poluição ambiental.

É difícil dissociar os impactos ambientais em termos de água, solo e ar, pois eles podem ocorrer conjuntamente e possuir fatores comuns de influência. Mesmo assim, nesse item, serão abordados os impactos ocorridos nos recursos hídricos superficiais.

A água é um bem essencial na vida dos seres humanos, portanto a procura por ela é muito grande, provocando uma diminuição da oferta desse bem natural, que se

caracterizará pela escassez, diminuição dos padrões de qualidade, com conseqüente poluição e contaminação dos cursos d'água.

MAURO (1997) cita a afirmação da obra *Cuidando do Planeta Terra*: "A vida no planeta Terra depende da água, porém o mau controle das águas está reduzindo a produtividade agrícola, espalhando doenças e colocando em perigo o equilíbrio ecológico".

Para MENDES (2001), a água é utilizada para quase todos as atividades humanas. Associado a esses múltiplos usos há também eventos extremos de cheias ou estiagens prolongadas. Quando há abundância, ela pode ser tratada como bem livre, sem valor econômico. Com o aumento da demanda (conflitos entre usos e usuários), precisa ser gerenciada como bem econômico. Essa escassez pode decorrer, também, de aspectos qualitativos, quando a poluição afeta de tal forma a qualidade, que os padrões excedem aos admissíveis, para determinados usos.

Segundo ACSELRAD (1992), o meio ambiente é constituído, basicamente, por elementos que não são passíveis de apropriação privada. Esse é o caso do ar e, em grande parte, das águas. Ninguém pode, portanto, ser privado do acesso a esses bens, ainda que no caso da água tal acesso possa ser condicionado ou não pela distância relativa dos rios, lagos e nascentes, ou pela existência de sistemas artificiais de distribuição.

Segundo MOTA (1999), o processo de urbanização pode provocar alterações sensíveis no ciclo hidrológico, principalmente sob os seguintes aspectos:

- aumento da precipitação;
- diminuição da evapotranspiração, como conseqüência da redução da vegetação;
- aumento da quantidade de líquido escoado (aumento do *runoff*);
- diminuição da infiltração da água, devido a impermeabilização e compactação de solo;
- consumo de água superficial e subterrânea, para abastecimento público, usos industriais e outros;
- mudanças ao nível do lençol freático, podendo ocorrer redução ou esgotamento do mesmo;
- maior erosão do solo e conseqüente aumento do processo de assoreamento das coleções superficiais de água;

- aumento da ocorrência de enchentes; e
- poluição das águas superficiais e subterrâneas.

MOTA (1999) define poluição ambiental como qualquer alteração das características de um ambiente (água, ar ou solo) de modo a torná-lo impróprio às formas de vida que ele normalmente abriga. Essas modificações podem ser resultantes da presença, lançamento ou liberação, no meio ambiente, de matéria ou energia, em quantidade ou intensidade tal que o tornem impróprio. O causador da poluição de um rio nem sempre é o que sofre as conseqüências. A constatação da poluição somente pode ser realizada visivelmente quando atinge valores elevados.

3.3.1.1 Poluição da água

Para MOTA (1999), em um meio urbano, as principais fontes de poluição da água superficial e subterrânea são:

- Fontes localizadas e
- Fontes não localizadas de poluição da água.

a-) Fontes Localizadas

Como fontes localizadas, citam-se:

- lançamento de esgotos domésticos (sanitário);
- lançamento de esgotos industriais;
- lançamento de águas pluviais, através de galerias.

O esgoto doméstico lançado nas águas sem tratamento prévio pode causar doenças às pessoas que ingerem o líquido desses canais ou que o utilizam como recreação. Para os corpos d'água, como o esgoto doméstico é rico em matéria orgânica, ocorre um aumento na demanda de oxigênio para que seja consumida a matéria orgânica por bactérias. Com a depleção do oxigênio na água, ocorrem desequilíbrios ecológicos nesse ambiente, afetando peixes e outros organismos aquáticos.

Além disso, os esgotos domésticos provocam alterações nas características da água no que se refere à cor, turbidez, odor, sólidos, compostos químicos, entre outros.

Quanto aos esgotos industriais, o mesmo tem composição variada, dependendo do processamento utilizado, e pode apresentar diversas características como:

- demanda bioquímica de oxigênio elevada, causando redução do oxigênio dissolvido da água;
- presença de compostos químicos tóxicos como metais pesados;
- cor, turbidez e odores indesejáveis;
- temperatura elevada, provocando desequilíbrios ecológicos no corpo receptor;
- nutrientes em excesso, causando a eutrofização da água, com prejuízos a seus usos;
- sólidos dissolvidos e em suspensão;
- ácidos e álcalis, com efeitos sobre o pH da água; e
- óleos, graxas e similares.

Quanto ao lançamento de águas pluviais, as primeiras águas que escoam para os corpos d'água que "lavam" as vias públicas são contaminantes, pois carregam consigo resíduos de graxas, combustíveis e demais substâncias presentes no meio urbano. Também as ligações clandestinas do sistema de esgotamento sanitário doméstico nas redes de coleta de águas pluviais contribuem para a poluição dos corpos d'água.

b-) Fontes não localizadas da poluição da água

Como fontes não localizadas de poluição da água podem ser citadas:

- água de escoamento superficial;
- água de infiltração; e
- lançamento direto de resíduos sólidos e outras impurezas.

MOTA (1999) descreve as características gerais das águas de escoamento superficial:

- sólidos sedimentáveis, de vários tipos e tamanhos;
- matéria orgânica;
- nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio;
- defensivos agrícolas e fertilizantes;
- bactérias e organismos patogênicos;
- vários compostos químicos; e
- metais pesados.

Esse líquido, atingindo os recursos hídricos, pode resultar em:

- efeitos negativos à saúde humana;

- depleção de oxigênio na água;
- danos ecológicos sobre a fauna e flora aquática;
- assoreamento;
- excessiva turbidez; e
- eutrofização.

Quando os resíduos sólidos são lançados diretamente nos corpos d'água, provocam a contaminação da água, a obstrução de passagens e a deposição de resíduos no leito do corpo d'água (diminuição da profundidade da calha).

3.4 Legislação Ambiental sobre Recursos Hídricos

A Constituição Brasileira, em seu artigo 225, garante o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (MACHADO, 2000; FIORILLO, 2001; MILARÉ, 2000).

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938, de 31/08/81) inseriu, como objetivo da política pública, a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio da preservação dos recursos ambientais, nos quais encontram-se as águas, com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente.

O Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4.771/65, estabelece cuidados para proteção das florestas permanentes, florestas essas que proporcionam proteção natural aos recursos hídricos superficiais.

Art. 2 – Consideram-se preservação permanente, só pelo efeito dessa lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, desde o seu nível mais alto em faixa marginal, cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;
- 2) de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;
- 3) de 100 metros para os cursos d'água que tenham 50 metros a 200 metros de largura;
- 4) de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros;
- 5) de 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros.

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água, naturais ou artificiais;

- c) nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45° equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras, e dunas ou estabilizadoras de mangues; (definidos em resolução do CONAMA)
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

Parágrafo único - No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

Parágrafo 1º – “A supressão total e parcial de florestas de preservação permanente só será admitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social”.

Tardiamente, mas sempre oportuna, foi promulgada a Lei nº 9.433/97, a qual determina a Política Nacional de Recursos Hídricos que se baseia nos seguintes fundamentos:

- a água é um bem de domínio público, ou seja, a água é um bem de uso comum do povo;
 - a água é um recurso natural limitado, e não ilimitado, dotado de valor econômico;
 - a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo da água.
- Entre esses usos da água, MACHADO (2000) cita o consumo humano, o lançamento de esgoto e demais resíduos líquidos ou gasosos, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final, o aproveitamento do potencial

hidrelétrico e o transporte aquaviário. Acrescenta-se ainda irrigação, esportes ou lazer e piscicultura;

- em situações de escassez, o uso prioritário da água é o consumo humano e dessedentação de animais;

- a bacia hidrográfica é a unidade para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

Nos incisos I e II do artigo 2 da Lei 9.433/97 estão explicitados os princípios do desenvolvimento sustentável de recursos hídricos (MACHADO, 2000; FIORILLO, 2001; MILARÉ, 2000):

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos;

II – a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

MACHADO (2000) comenta que deve haver a disponibilidade de água de boa qualidade, isto é, não poluída, para as gerações futuras, além da disponibilidade equitativa de água que facilite o acesso de todos a esse bem, ainda que em quantidades diferentes.

A Lei nº 9.605, de 12/02/1998, trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Em seu capítulo V, dos Crimes Contra o Meio Ambiente, na seção II – dos Crimes Contra a Flora, estabelece as penas do indivíduo que vier a destruir ou danificar florestas consideradas de preservação permanente.

Na seção III – da Poluição e Outros Crimes Ambientais, em seu artigo 54, estabelece como crime: “Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou destruição significativa da flora”.

Ainda no parágrafo 2º, cita como crime ambiental causar poluição hídrica que torne necessário a interrupção do abastecimento público de uma comunidade.

A Constituição do Estado de São Paulo também traz em seu texto artigos específicos sobre recursos hídricos. E seu artigo 205, estabelece que o Estado instituirá, por lei, sistema integrado de gerenciamento dos recursos hídricos, congregando órgãos estaduais, municipais e a sociedade civil, e assegurará meios financeiros para:

- I – A utilização racional das águas superficiais e subterrâneas e sua prioridade para abastecimento às populações;
- II – O aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos e o rateio dos custos das respectivas obras, na forma de lei;
- III – A proteção das águas contra ações que possam comprometer os seus usos atuais e futuros;
- IV – A defesa contra eventos críticos, que ofereçam riscos à saúde e segurança públicas e prejuízos econômicos ou sociais;
- V – A celebração de convênios com os Municípios, para a gestão, por estes, das águas de interesse exclusivamente local;
- VI – A gestão descentralizada, participativa e integrada em relação aos demais recursos naturais e às peculiaridades da respectiva bacia hidrográfica;
- VII – O desenvolvimento do transporte hidroviário e seu aproveitamento econômico.

O artigo 208 da Legislação Estadual adverte que fica vedado o lançamento de efluentes e esgotos industriais, sem o devido tratamento, em qualquer corpo de água.

Já em seu artigo 210, a Constituição Paulista incentivará a adoção de medidas para proteger e conservar as águas e prevenir seus efeitos adversos, como:

- da instituição de áreas de preservação das águas utilizáveis para abastecimento às populações e da implantação, conservação e recuperação de matas ciliares;
- do zoneamento de áreas inundáveis, com restrições a usos incompatíveis nas sujeitas a inundações freqüentes e da manutenção da capacidade de infiltração do solo;

A lei Estadual nº 7.633, de 30 de dezembro de 1991, procura atender o que determina os objetivos da Lei Federal 9.433/97, com algumas outras contribuições como combate e prevenção das causas e dos efeitos adversos da poluição, das inundações, das estiagens, da erosão do solo e do assoreamento dos corpos d'água, compatibilização do gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente.

DUPAS e RÖHM (2002) comentam a respeito do Estatuto da cidade aprovado pela Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. O Estatuto da cidade contém as diretrizes gerais da política urbana, que visam: garantia do direito a cidades sustentáveis, o planejamento do desenvolvimento das cidades, a proteção do meio ambiente natural e do patrimônio cultural, a produção de bens e serviços nos limites da sustentabilidade ambiental e a recuperação pelo poder público de investimentos que tenham resultado na valorização de imóveis urbanos, entre outras. São instrumentos para tal: 1) Gestão democrática - por meio da ação de órgãos colegiados de política urbana, da realização de debates, audiências e consultas públicas, da iniciativa popular de leis, planos e projetos, do referendo e do plebiscito; 2) Plano Diretor: obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, passa a ser exigido também para aquelas integrantes de áreas de especial interesse turístico ou influenciadas por empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental; 3) Parcelamento, edificação ou utilização compulsórios: ferramenta contra a ociosidade de terrenos urbanos já dotados de infraestrutura e serve como penalidade pela retenção ociosa de terrenos; 4) IPTU progressivo no tempo: segunda sanção prevista para combater a ociosidade de terrenos urbanos; 5) Desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública: torna a desapropriação de imóveis urbanos ociosos semelhante à que ocorre para fins de reforma agrária; 6) Usucapião especial: dispositivo auto-aplicável da Constituição, é ampliado para a possibilidade do usucapião coletivo, facilitando a regularização fundiária de áreas urbanas de uso coletivo, como as favelas; 7) Direito de superfície: permite a transferência, gratuita ou onerosa, do direito de construir sem que este alcance o direito de propriedade do terreno; 8) Direito de preempção: assegura preferência ao poder público na aquisição de imóveis urbanos, permitindo a formação de estoque de terras públicas sem a necessidade de procedimentos de desapropriação; 9) Outorga onerosa do direito de construir e de alteração de uso: possibilidade do município estabelecer determinado coeficiente de aproveitamento dos terrenos a partir do qual o direito de construir excedente deve ser adquirido do poder público. O mesmo deverá ocorrer quando o uso for alterado e resultar na valorização do imóvel; 10) Operações urbanas consorciadas: permitem um conjunto de intervenções e medidas, consorciadas entre poder público e iniciativa privada, com vistas a alcançar transformações urbanísticas de maior monta; 11) Transferência do direito de construir: faculta o exercício desse direito

em imóvel distinto do que originalmente o detinha. Mecanismo útil para a implantação de equipamentos urbanos, preservação do patrimônio histórico e cultural e regularização de áreas ocupadas por população de baixa renda; 12) Estudo de impacto de vizinhança: documento técnico a ser exigido para a concessão de licenças e autorizações de construção, ampliação ou funcionamento

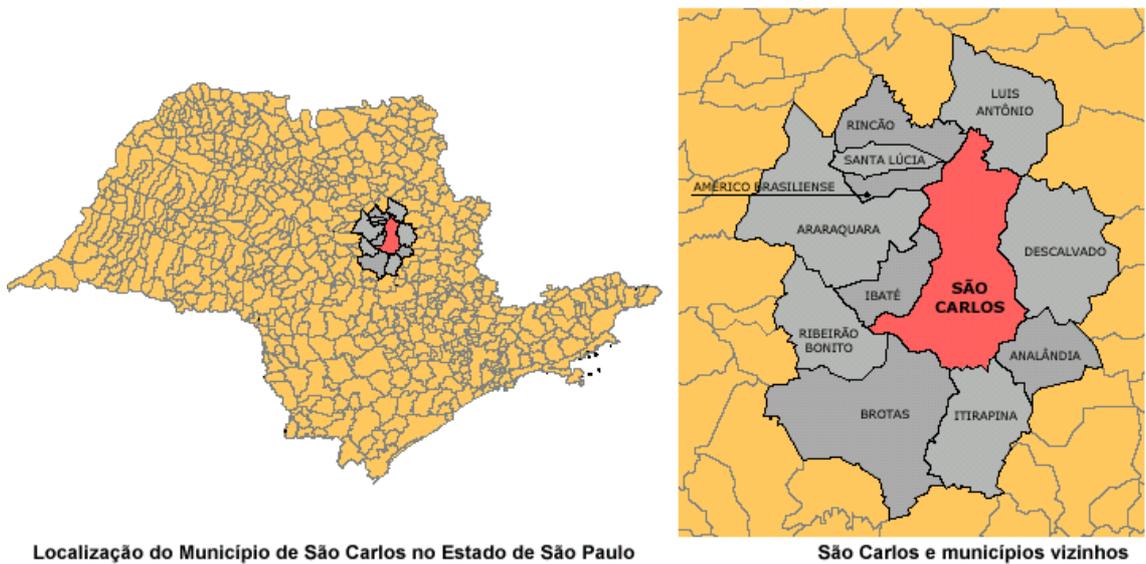
Embora existam todas essas preocupações no aspecto legal, percebe-se que tais normas legais não são devidamente cumpridas, ou por conveniência ou por falta de informação do poder público. Para ilustrar tal situação, fundos de vales são ocupados e áreas de mananciais não são respeitados, esgotos são lançados sem tratamento em corpos d'água.

COSTA (1998) comenta a relação entre os recursos hídricos e sua degradação; segundo suas palavras: “enquanto as fontes não secam, não há conflitos pelo uso e aproveitamento da água. O mito em torno do “poder restaurador da natureza” e o descaso em relação ao meio ambiente levam à degradação das águas superficiais e subterrâneas. Mas quando o desabastecimento e a limitação do consumo se tornam realidade, o problema se configura em termos de *recursos hídricos*”.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Objeto de Estudo

O objeto da pesquisa é uma área da malha urbana de São Carlos que foi representado em um sistema de informações geográficas, correspondente ao limite traçado para o ano de 2002, encerrando uma área de 54,1 km². A área em estudo é visualizada na Figura 11, representada pelo contorno em magenta.



Localização do Município de São Carlos no Estado de São Paulo
 Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2002).



FIGURA 11 – Objeto de estudo.

A cidade de São Carlos no Estado de São Paulo está localizada a aproximadamente 230 Km a noroeste da cidade de São Paulo, limitada pelos paralelos de 22° 00' e 22° 30' sul e meridianos 47° 30' e 48° 00' WGr.

Segundo PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2002), São Carlos possui uma população atual, de 197.187 habitantes, sendo que 95% vivem na área urbana. Embora receba a denominação de capital nacional de tecnologia, com 5 instituições de ensino superior, entre elas duas universidades públicas de alto nível, reconhecidas internacionalmente como centros de ensino e pesquisa de excelência, as diferenças sociais são marcantes e são representadas por “bolsões” de pobreza em vários pontos do município. No tocante aos recursos hídricos, os impactos nos fundos de vales urbanos demonstram como são mal gerenciados, resultando em constantes alagamentos urbanos e erosões na área rural.

De modo geral, em São Carlos é observada a criação de novos loteamentos, localizados cada vez mais distante dos centros urbanos e necessitando de infra-estrutura da prefeitura. Essa infra-estrutura compreende a transmissão de energia elétrica, o desmatamento de áreas, a construção de ruas e estradas, plantios agrícolas, a construção de sistemas de deposição de resíduos, armazenamento de água e a construção dos equipamentos urbanos para a população. Dessa forma, existem terrenos vagos mais próximos ao centro urbano que poderiam ser usados para habitação e com menor custo de implantação de infra-estrutura. Segundo os dados apresentados na Conferência da Cidade, realizada em 2002, excluindo-se as áreas de preservação ambiental e áreas suscetíveis a erosão, 20% da área passível de ocupação urbana encontra-se desocupada.

A geologia é representada em sua quase totalidade pelas litologias da Bacia Sedimentar do Rio Paraná. Na pedologia são identificadas as seguintes classes de solo: latossolo vermelho-amarelo (LV); latossolo vermelho escuro (LE); latossolo roxo (LR); podzólico vermelho-amarelo (PV); terra roxa estruturada (TE); areias quartzozas (AQ); solos litólicos (LI); solos hidromórficos e solos concrecionários (PL) (NISHIYAMA, 1991).

Segundo Oliveira e Prado⁴ (1984) citados por NISHIYAMA (1991), a vegetação primitiva local era representada pelos campos de cerrados, cerrados e cerradões,

⁴OLIVEIRA, J. ; PRADO, H.do. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos. II Memorial Descritivo. Instituto Agrônomo de Campinas, SP. Boletim Técnico 98, 188p. 1984.

condicionada pela predominância de solos muito profundos, excessivamente ou muito permeáveis e de baixo potencial nutricional. Essa vegetação normalmente é constituída de uma cobertura herbácea mais ou menos contínua e de um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos. Sua agropecuária é predominantemente voltada à cultura de café, cana-de-açúcar, citricultura, reflorestamentos, gado de corte e leite.

De acordo com DUPAS (2001), a malha de drenagem da região abrange parcialmente as bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira, Corumbataí e Mogi-Guaçu. Com exceção do Rio Mogi-Guaçu, todos os outros possuem suas nascentes próximas aos limites da região de São Carlos ou dentro deles. A maior parte dos pequenos rios da região tem um regime bastante variável em suas vazões, condicionado diretamente pela distribuição sazonal das chuvas.

4.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados programas, documentos e equipamentos, descritos em seguida, conforme comentados em DUPAS e RÖHM (2002).

4.2.1 Programas

Os programas usados para a implantação deste Sistema de Informações Geográficas são SPRING, IMPIMA, SCARTA e IPLOT, conforme se descrevem em seguida, de acordo com a literatura disponibilizada pelo INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002).

A escolha do pacote SPRING se deu porque é um produto nacional de alta qualidade, em franca evolução e com licença de uso livre e irrestrita.

As vantagens do seu uso são diversas, tais como: documentação em português, toda caixa de diálogos possui ajuda específica, tutorial e curso para autodidatas contidos no CD, grande quantidade de exemplos contidos no CD, o pacote atende a maioria das áreas de geoprocessamento, suporte da equipe de desenvolvimento via internet, fácil aprendizado e de baixo custo ou gratuito se copiado diretamente da página do INPE via internet, dentre outras.

4.2.1.1 SPRING 3.6.02 e 3.6.03

O programa SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) é gerenciador de banco de dados geográficos de 2ª geração, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- opera como um banco de dados geográficos sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo o banco;
- administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto num SIG;
- provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra); e
- consegue escalonabilidade completa, isto é, pode ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Para alcançar esses objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

A motivação básica para o uso do SPRING nesta pesquisa baseia-se em duas premissas (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002): integração de dados e facilidade de uso. No primeiro caso, constata-se que a complexidade dos problemas ambientais do Brasil requer uma ampla capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais, e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo.

4.2.1.2 Impima

Para a introdução de imagens no ambiente SPRING torna-se necessário converter os arquivos matriciais para o formato GRB, adotado como padrão para o SPRING.

O módulo IMPIMA do produto SPRING é utilizado somente para se obter uma imagem no formato GRIB, seja através da leitura de imagens, por dispositivos como: CD-ROM (Compact Disc - Read Only Memory), CCT (Computer Compatible Tapes), streamer (60 ou 150 megabytes) e DAT (Digital Audio Tape - 4 ou 8mm) adquiridas a partir dos sensores TM/LANDSAT-5, HRV/SPOT e AVHRR/NOAA, ou conversão de imagens nos formatos TIFF, RAW e SITIM.

4.2.1.3 Scarta

O módulo SCARTA do produto SPRING é utilizado para preparar mapas e cartas a partir de informações contidas em um projeto desenvolvido no SPRING.

4.2.1.4 Iplot

O módulo IPLOT do produto SPRING é utilizado para imprimir mapas e cartas a partir de informações contidas em um projeto desenvolvido no SPRING. Esse módulo apresenta interface com o ambiente Windows, o que permite usar as configurações de qualquer dispositivo de impressão instalado e configurado.

4.2.1.5 Ambiente Operacional

O ambiente operacional no qual os programas da família SPRING operaram é o Windows 98.

4.2.1.6 Banco de Dados

O programa gerenciador de banco de dados alfanumérico usado neste projeto é o Access.

4.2.2 Documentos

O conjunto de materiais utilizado para o desenvolvimento deste projeto é composto por:

- mapas planialtimétricos do Instituto Brasileiro de Geografia, edição de 1971, escala 1:50.000, representados na Projeção Transversa de Mercator, fusos 22 e 23, com *datum* vertical de Imbituba – SC e *datum* horizontal de Córrego Alegre – MG. As cartas utilizadas foram: São Carlos (SF-23-Y-A-I-1) e Ibaté (SF-23-V-C-IV-3);
- aerofotos de 1961/1962, levantamento municipal na escala aproximada de 1:25000;
- aerofotos de 1971/1972, levantamento municipal na escala aproximada de 1:25000;
- aerofotos de 1998, levantamento municipal na escala aproximada de 1:8000;
- aerofotos de 2000, levantamento municipal na escala aproximada 1:30000;
- imagens orbitais 2002 – fusão pan + bandas 3-4-5 Landsat 7 ETM+, cena 220/075, data de 11/04/2002.

4.2.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento deste projeto encontram-se listados em seguida:

- microcomputador padrão PC;
- *scanner* plano tamanho A4;
- *scanner* cilíndrico tamanho A0; e
- impressora jato de tinta tamanho A4.

4.3 Método

Este item divide-se em coleta e conversão de dados e consultas e análises, descritos em seguida e mostrados na Figura 12.

4.3.1 Coleta e Conversão de Dados

A coleta e conversão de dados referem-se aos itens 3, 4, 5 e 6 do fluxograma. A maioria dos dados referentes ao objeto de estudo estava disponibilizado no formato analógico, citados em 4.2. A conversão dos dados desenvolveu-se conforme se descreve em seguida.

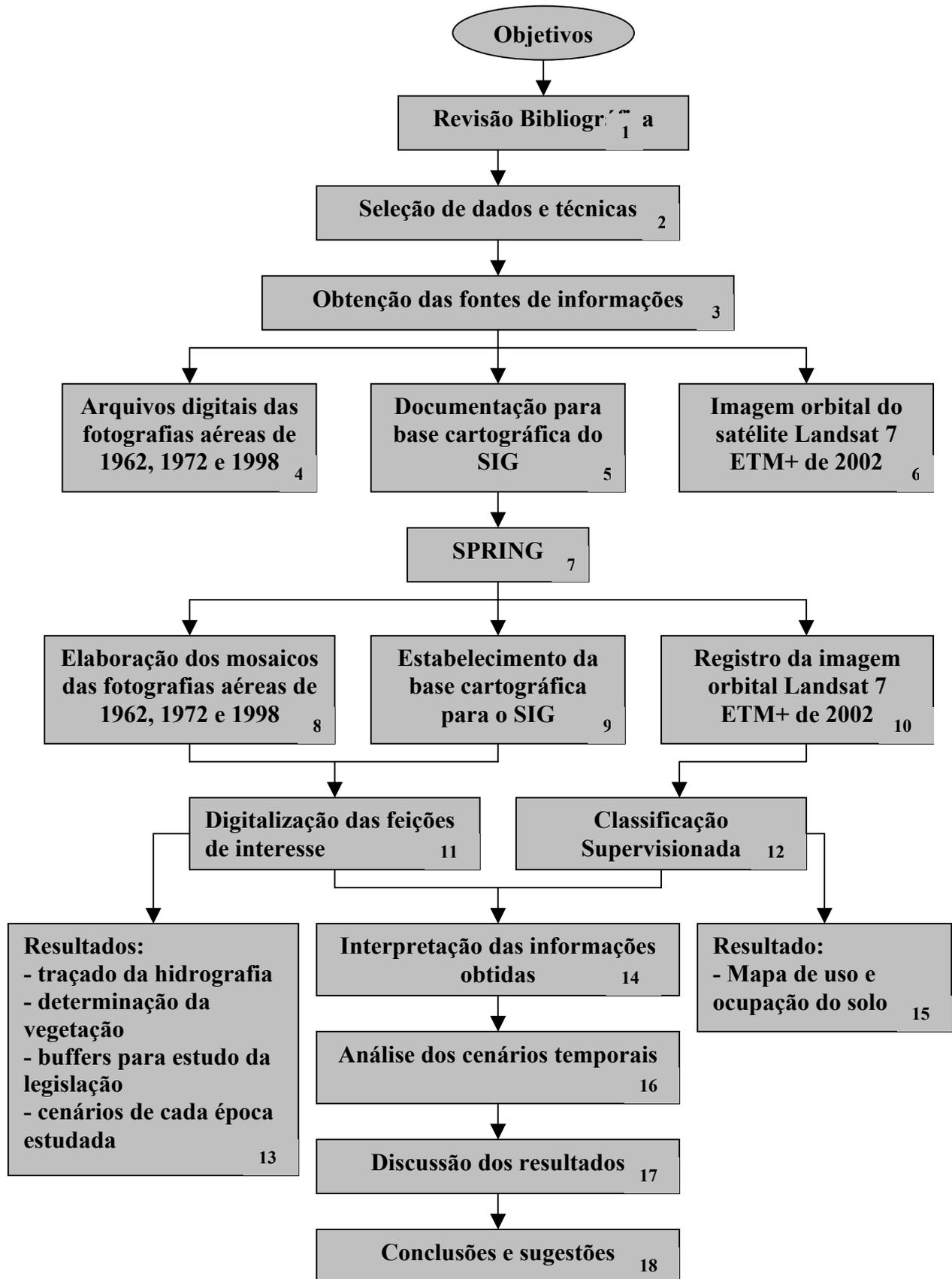


FIGURA 12 – Fluxograma da metodologia empregada.

4.3.1.1 Mapas Analógicos

Os mapas analógicos correspondem ao item 5 do fluxograma. Esse material passou por um processo de conversão para o formato digital matricial através de leitura em scanner no A0. Os arquivos obtidos nesse processo de conversão analógico-matricial foram salvos no formato TIFF não compactado, com resolução de 300 dpi, e padrão de cor monocromático.

Como o SPRING suporta apenas o formato GRB, os arquivos obtidos no formato TIFF foram convertidos para o formato GRB, através do módulo IMPIMA.

Em seguida, os mapas digitais foram georreferenciados no módulo Registro do SPRING e as informações, originalmente analógicas, convertidas em formato matricial com extensão GRB, foram vetorizadas usando-se as ferramentas disponibilizadas pelo SPRING (itens 9 e 11 do fluxograma).

4.3.1.2 Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas (item 4 do fluxograma) utilizadas para elaboração do mosaico da área urbana e de expansão foram convertidas para o formato digital em scanner A4, com uma resolução em que fosse possível identificar os elementos de interesse nas fotos. Assim, foram obtidos os arquivos digitais das fotografias em formato TIFF das fotografias dos vôos de 1962 e 1972.

Em seguida, as fotografias de interesse foram impressas e procedeu-se a elaboração do mosaico através da união das mesmas. Esse procedimento é importante para determinação dos pontos de controle para o georreferenciamento das fotografias no SPRING e conseqüente elaboração dos mosaicos das fotografias no software. Os pontos de controle foram obtidos através das cartas topográficas e de pontos contidos em fotografias georreferenciadas.

Conhecendo-se as fotografias que serão utilizadas e os pontos de controle, realizou-se o processo de registro das fotografias aéreas no SPRING e a elaboração do mosaico da área urbana e de expansão dos referidos anos (item 8 do fluxograma).

Com os mosaicos realizados, procedeu-se a digitalização das informações de interesse, como matas ciliares e hidrografia, além da verificação da evolução da urbanização (item 11 do fluxograma).

4.3.1.3 Imagem Orbital

A imagem Landsat 7 ETM+ fusão da banda pancromática com as bandas 3-4-5 foi georreferenciada (item 10 do fluxograma) através do recurso Registro do SPRING. Foram utilizados 12 pontos de controle e erro de 0,342 pixel, dentro dos parâmetros consultados na bibliografia no qual se determina que o erro deve ser menor que meio *pixel* (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

Em seguida procedeu-se a classificação supervisionada da cena que encerra a área em estudo nos seguintes temas (item 12 do fluxograma):

- tema 1 – área urbana – contorno: caracterizado pela área urbana. Subdividiu-se o tema urbano em urbano_1 e urbano_2. A classe urbano_1 refere-se a área mais densamente ocupada e impermeabilizada como é o caso do centro da cidade. A classe_2 indica áreas com menor impermeabilização e ocupação mais rarefeita. (Figura 13);
- tema 2 – vegetação primária: neste tema estão incluídas as matas ciliares, vegetação primária conservada e em situação de antropofização (Figura 14);
- tema 3 – vegetação de reflorestamento: representa as vegetações como pinus e eucaliptos (Figura 15);
- tema 4 – solo exposto: representa os solos que estão preparados ou sendo preparados para o plantio de culturas (recebendo a denominação de cultura_2 no mapa de uso e ocupação do solo), bem como os solos que não possuem cobertura vegetal (recebendo a denominação de solo exposto no mapa de uso e ocupação do solo). (Figura 16);
- tema 5 – plantio: estão incluídas as culturas, em especial a cana-de-açúcar. Na classificação o tema 5 recebeu a denominação de cultura_1 (Figura 17); e
- tema 6 – pastagem: refere-se às áreas constituídas de gramíneas ou por arbusto. O tema 6 recebeu a denominação de campos no mapa de uso e ocupação (Figura 18).

Para auxiliar na classificação, foram realizadas visitas a campo para identificar os temas e associação dos mesmos às feições da imagem para obtenção das amostras de treinamento que o software necessita para a identificação das classes e conseqüente classificação.



FIGURA 13 – Área Urbana (Tema 1)



FIGURA 14 – Vegetação primária (Tema 2)



FIGURA 15 – Vegetação de reflorestamento (Tema 3)



FIGURA 16 – Solo exposto (Tema 4)



FIGURA 17 – Plantio (Tema 5)



FIGURA 18 – Pastagem (Tema 6)

4.4 O Projeto

As informações referentes ao projeto correspondem ao item 7 do fluxograma.

4.4.1 Arquitetura do Banco de Dados

Um Banco de Dados no SPRING corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados tanto o Modelo de Dados, com suas definições de Categorias e Classes, quanto os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

O banco de dados deste projeto é denominado São Carlos e foi criado no ambiente do sistema gerenciador de bancos de dados Access, conforme visualizado na Figura 19.

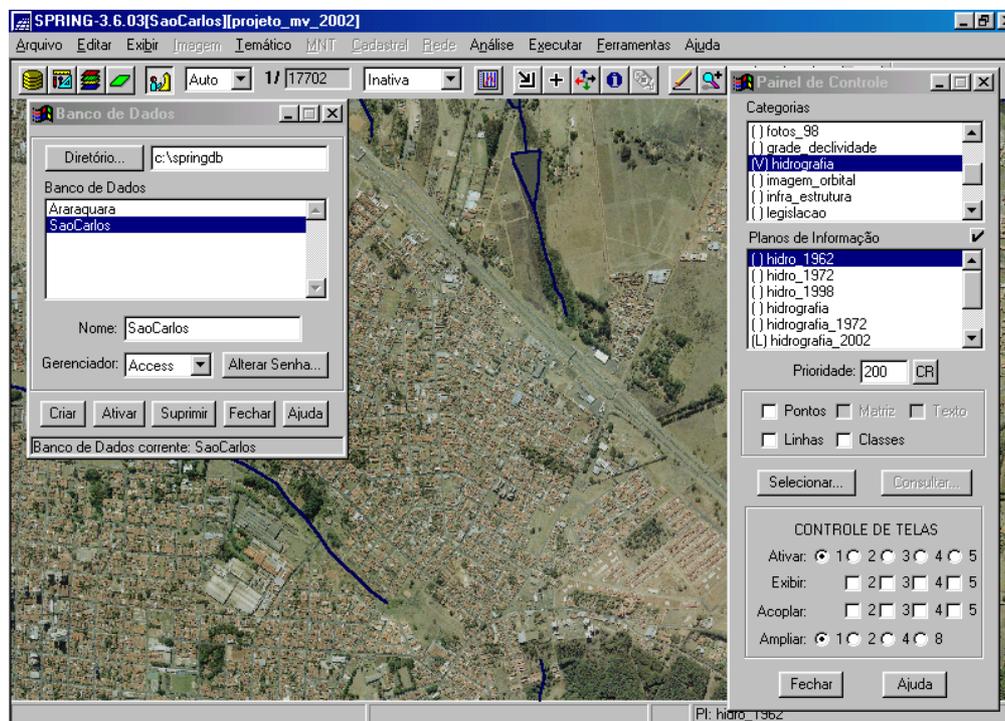


FIGURA 19 - Banco de dados do projeto, criado no ambiente do sistema gerenciador de bancos de dados Access.

O projeto, chamado de São Carlos, foi criado no sistema de projeção policênico, com *datum* horizontal de Córrego Alegre – MG e *datum* vertical de Imbituba – SC, com origem na latitude N 0° 00' 00" e longitude O 54° 00' 00". Não foi utilizado o sistema UTM porque a região em estudo divide-se entre os fusos 22 e 23. O retângulo envolvente deste projeto possui as coordenadas planas e geográficas mostradas no Quadro 6. A escala de trabalho é 1:50.000, a mesma adotada para o Projeto de Políticas Públicas Uso Atual e Uso Potencial do Solo no Município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural.

QUADRO 6 – Coordenadas do retângulo envolvente do projeto.

vértices/ coordenadas	X	Y	long	lat
1	624809,172	-2455470,818	o 47° 56' 59,09"	s 22° 04' 59,88"
2	636331,363	-2441524,403	o 47° 49' 58,28"	s 21° 57' 14,15"

4.4.2 Modelagem do projeto

O sistema de informações geográficas que representa o município de São Carlos é constituído por categorias temáticas, modelo digital de terreno e imagem, conforme se observa no Quadro 7. Essa estrutura permite a organização, o acesso e o gerenciamento das informações com eficiência.

QUADRO 7 – Categorias temáticas.

Categorias	Modelos	Planos de Informação	Descrição
evolução_urbana	temático	limite_1962 limite_1972 limite_1998 limite_2002	Contém os limites urbanos estabelecidos a partir das fotografias aéreas
fotos_2000	imagem	49_0087_b1 49_0087_b2 49_0087_b3 49_0089_b1 49_0089_b2 49_0089_b3 50_0087_b1 50_0087_b2 50_0087_b3 50_0089_b1 50_0089_b2 50_0089_b3	Contém as fotografias aéreas georreferenciadas do voo de 2000
Fotos_62	imagem	mosaico_62	Contém o mosaico das fotografias aéreas georreferenciadas do voo do IAC de 61/62
Fotos_72	imagem	mosaico_72	Contém o mosaico das fotografias aéreas georreferenciadas do voo do IAC de 72
Fotos_98	imagem	mosaico_98	Contém o mosaico das fotografias aéreas georreferenciadas do voo de 1998
hidrografia	temático	hidro_1962 hidro_1972 hidro_1998 hidro_2002	Contém a hidrografia da área em estudo: rios, córregos, lagoas, nascentes etc, conforme as cartas do IBGE
Imagem_orbital	imagem	fusão_1 fusão_2 fusão_3	Contém as bandas para composição da imagem orbital colorida
Infra_estrutura	temático	estradas_primarias estradas_secundarias ferrovia	Contém o traçado das estradas e ferrovias do município
legislação	temático	buffer_30_62 buffer_50_62 buffer_30_72 buffer_50_72 buffer_30_98 buffer_50_98	Contém os <i>buffers</i> de 30 e 50 metros para cada cenário estudado
uso_ocupação	temático	class	Contém o resultado da classificação supervisionada efetuada no ambiente do SPRING
vegetação	temático	vegetação_62 vegetação_72 vegetação_98 vegetação_2000	Contém a vegetação digitalizada a partir das fotografias aéreas

Os itens 13 a 18 do fluxograma serão tratados nos capítulos seguintes.

5. RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo mostrar os resultados através dos cenários obtidos a partir das fotografias aéreas e imagem de satélite referentes aos períodos de tempo estudados. Os resultados estão demonstrados no fluxograma apresentado na Figura 20.

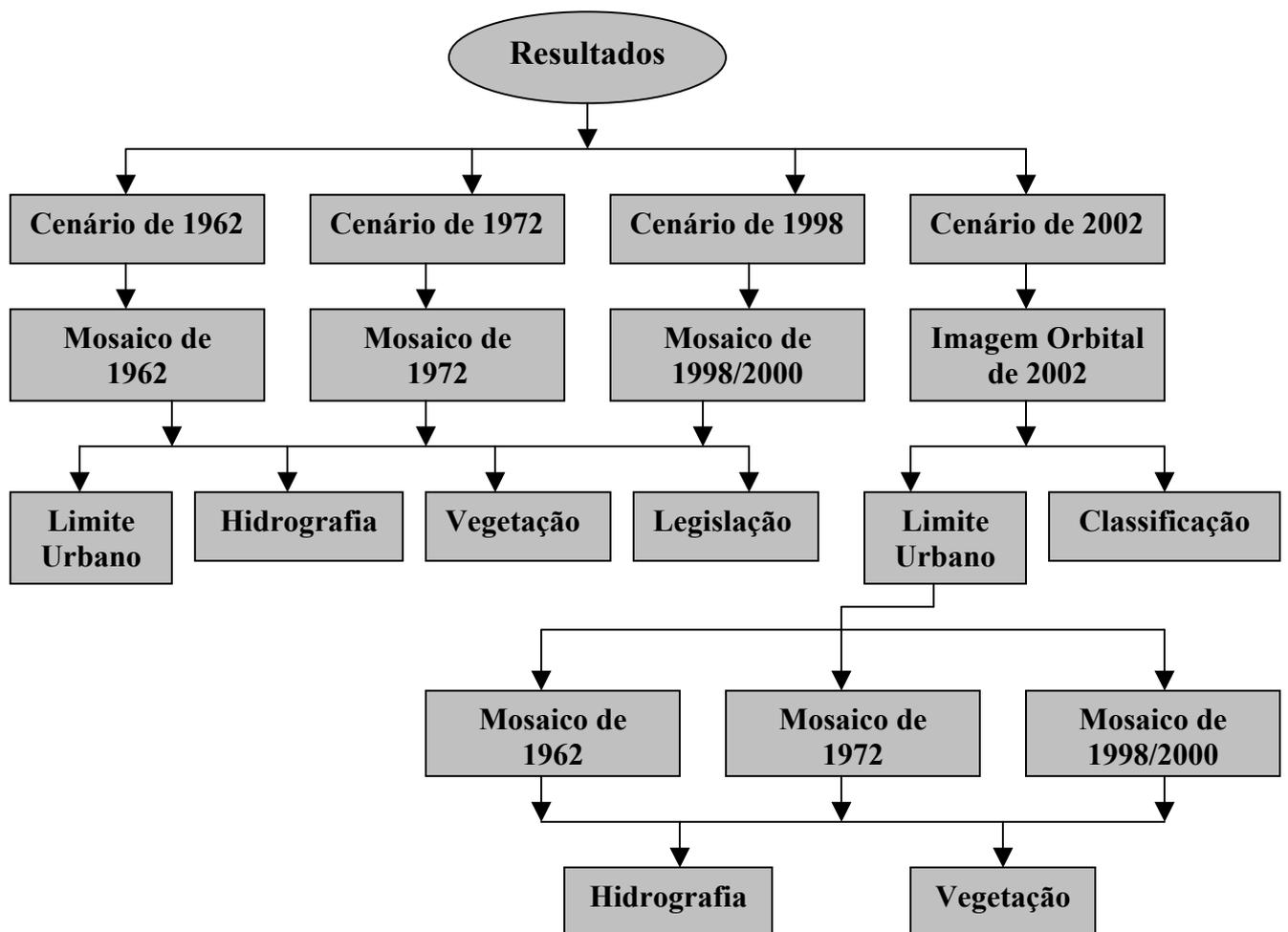


FIGURA 20 – Fluxograma dos resultados

Cenário de 1962

Conforme observado no mosaico realizado com as fotografias aéreas de 1962, a cidade de São Carlos teve seu limite urbano estabelecido através do software SPRING, encerrando uma área de 17,9 km².

Delimitada a área urbana, calculou-se o comprimento dos recursos hídricos contidos dentro desse contorno bem como a área de vegetação de maior relevância ao longo dos recursos hídricos. Considerou-se como vegetação de maior relevância aquela que apresentou continuidade ao longo dos corpos d'água. O limite da área urbana, a hidrografia e a vegetação podem ser visualizados na Figura 21.

Cenário de 1972

O cenário de 1972 foi obtido através de fotografias aéreas daquela época. A Figura 22 apresenta o mosaico das fotografias de 1972 juntamente com a delimitação da área urbana, a vegetação e os corpos d'água contidos no limite estabelecido.

Cenário de 1998 - 2000

O cenário relativo ao ano de 1998 pode ser observado na Figura 23, obtido através de fotografias aéreas, e possui área de 49,0 km². Ainda, para auxiliar nas análises, foram utilizadas fotografias coloridas de 2000 (Figura 24), pois o mosaico obtido a partir das fotografias aéreas de 1998 não demonstrava algumas áreas que não foram cobertas pelo voo.

Cenário 2002

O cenário atual pode ser observado através da imagem orbital Landsat 7 ETM+ de 2002, visualizada na figura 25. A partir da imagem de satélite, foi traçado o limite da mancha urbana para o cenário de 2002 e realizada a classificação supervisionada no ambiente do SPRING 3.6.03. Com a classificação foi possível a elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo do entorno da área urbana, representado na Figura 26.

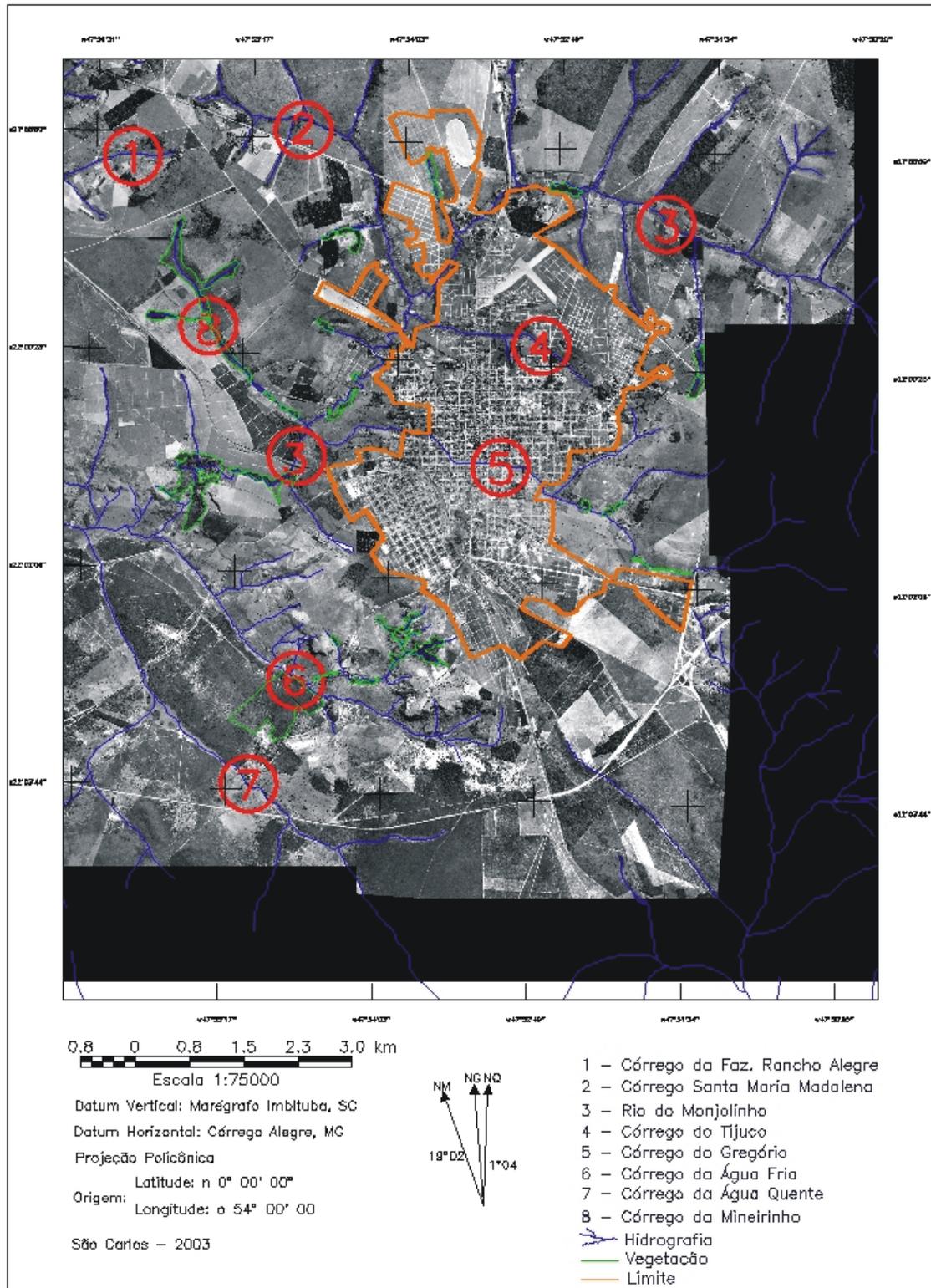


FIGURA 21 – Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1962.

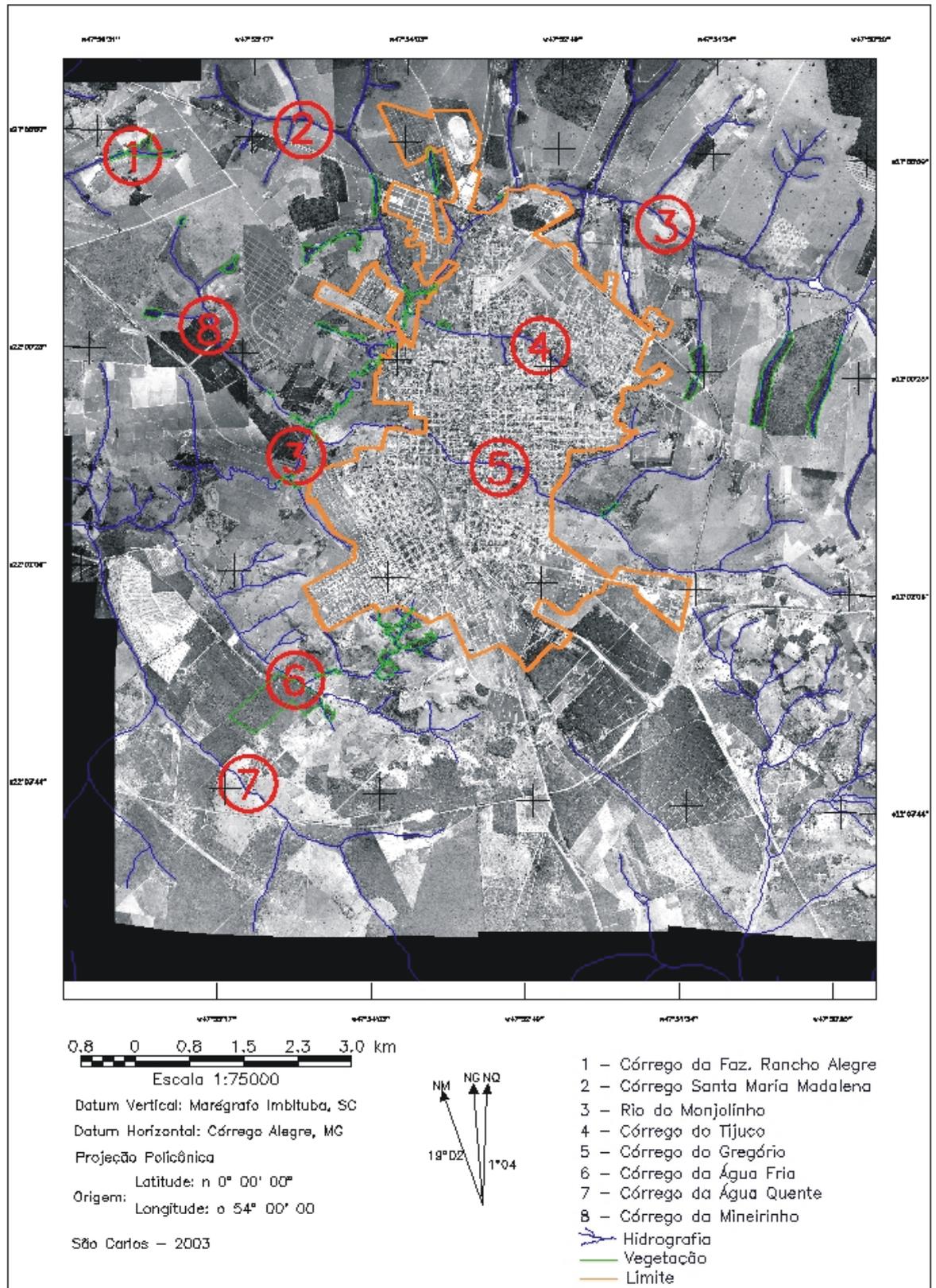


FIGURA 22 – Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1972.

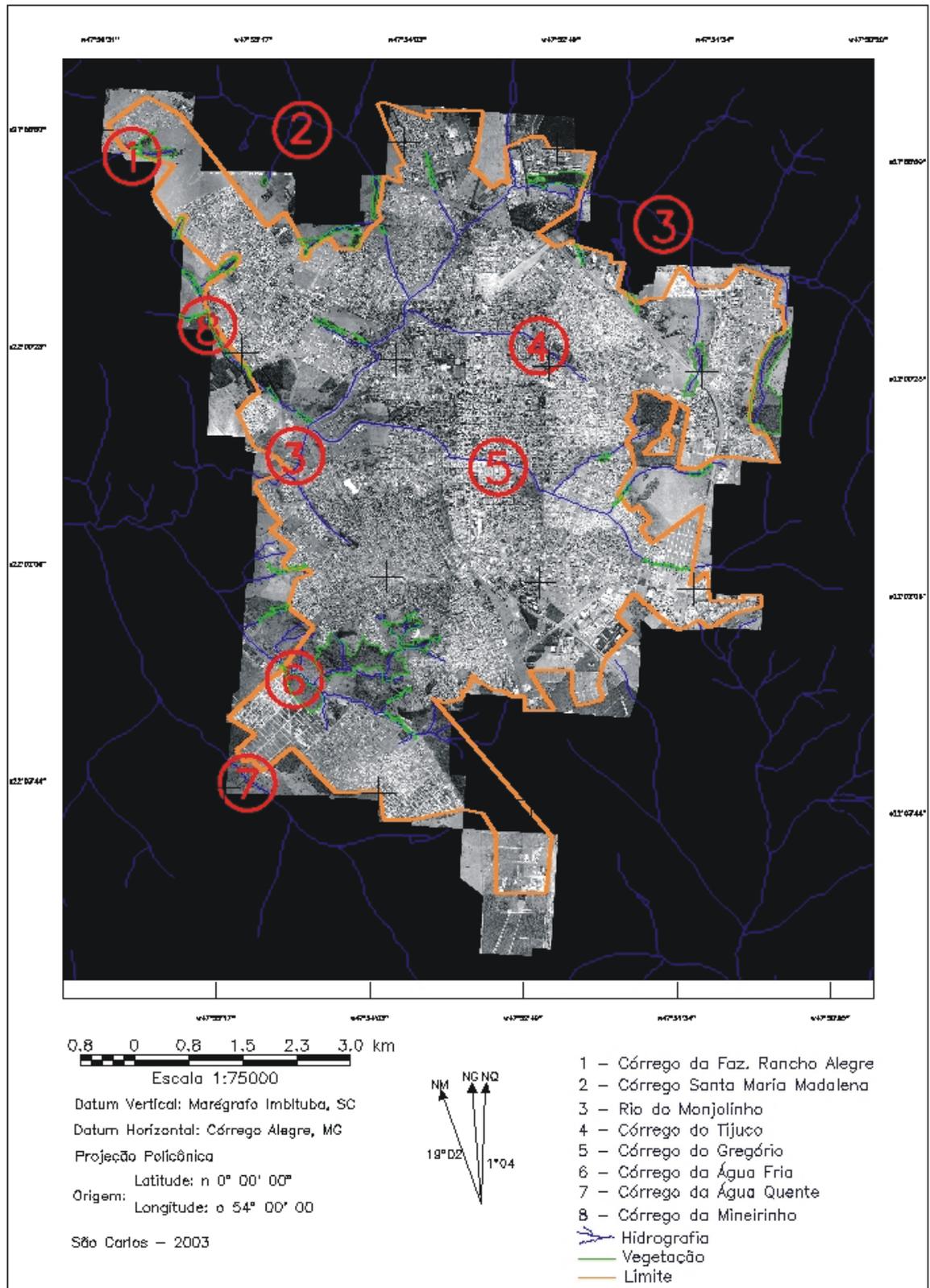


FIGURA 23 – Limite da área urbana, hidrografia e vegetação para 1998.



FIGURA 24 – Fotografias aéreas coloridas do ano 2000.

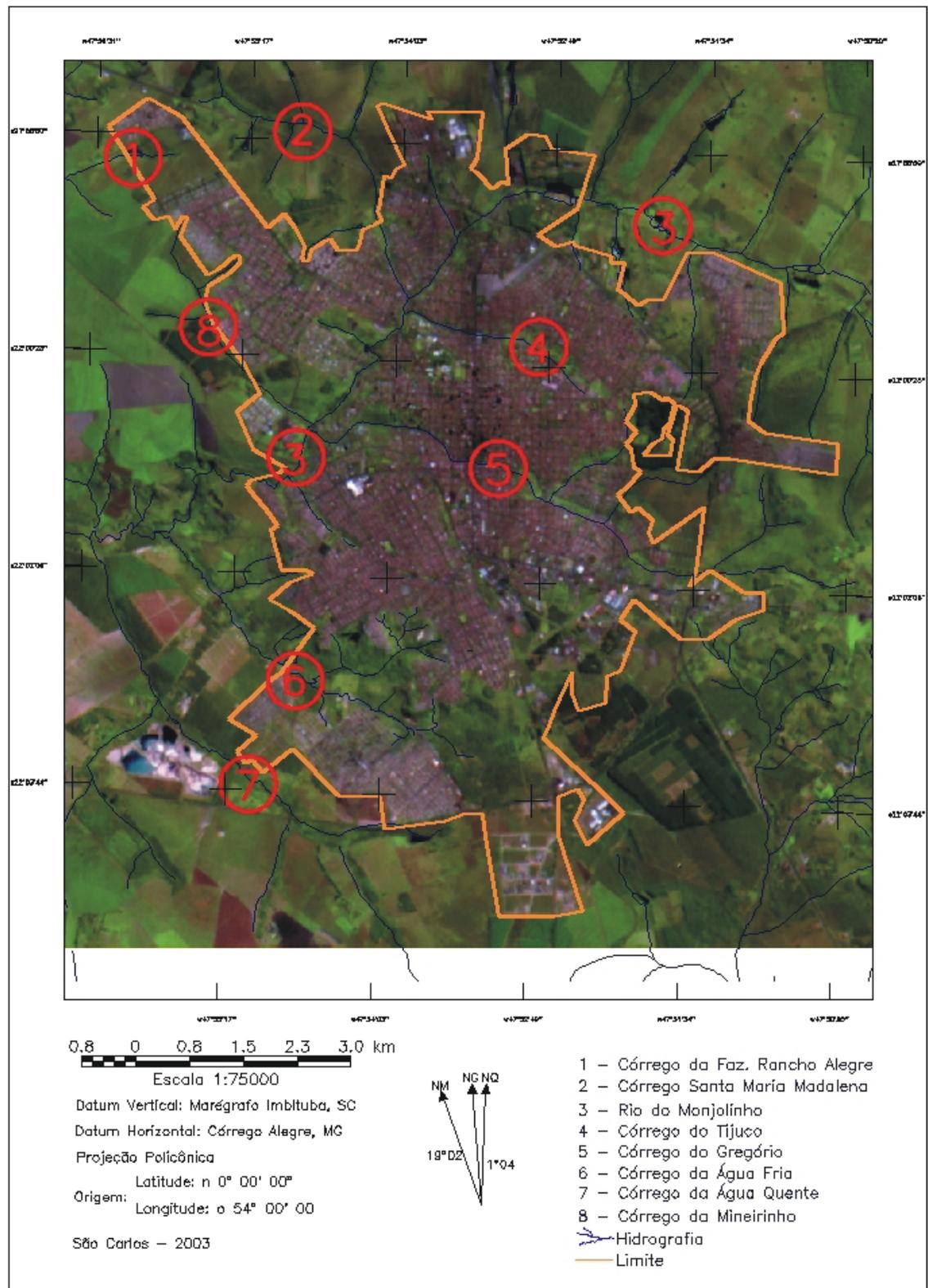


FIGURA 25 – Limite da área urbana para 2002. Imagem Landsat 7 ETM+ fusão das bandas 5R4G3B e PAN.

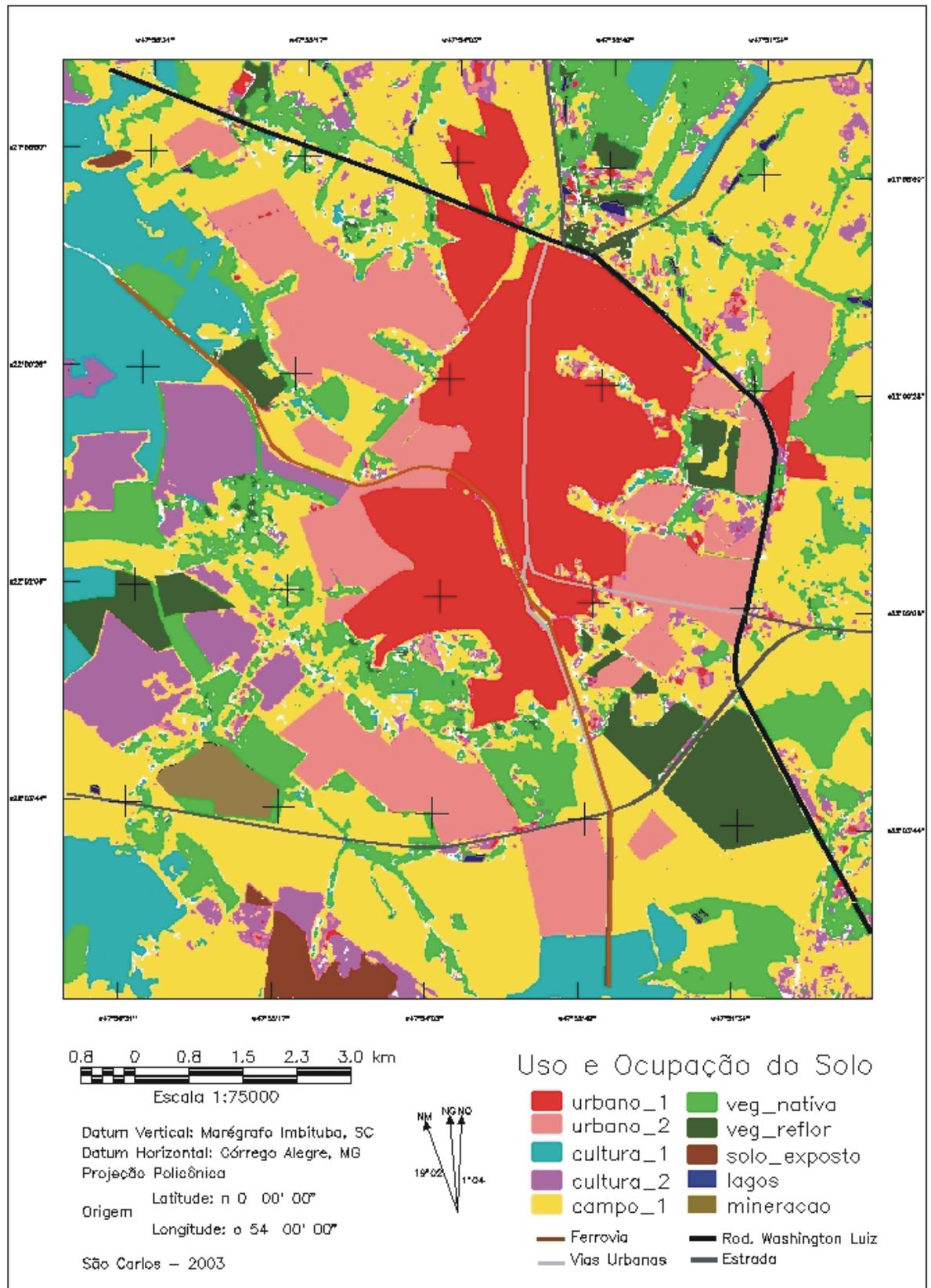


FIGURA 26 – Classificação supervisionada realizada no ambiente do SPRING 3.6.03.

Quadro Resumo dos Resultados Obtidos

Os resultados obtidos para os cenários estudados estão apresentados no Quadro 8.

QUADRO 8 – Resultados obtidos para os cenários estudados.

Período	Área da mancha urbana (km²)	Comprimento da hidrografia encerrado pelo limite urbano (km)	Área de vegetação (km²)	Relação entre a área de vegetação e área urbana (%)
1962	17,9	6,6	0,091	0,51
1972	20,5	7,3	0,100	0,49
1998/2000	49,0	34,7	1,3	2,65
2002	54,1	41,2	-	-

Análise Multitemporal

Para a análise multitemporal de como a evolução urbana interagiu com os recursos hídricos, foram obtidos dados sobre quantidade de vegetação ao longo dos fundos de vales e o comprimento dos corpos d'água em cada época a ser analisada, utilizando o contorno da área urbana para 2002, considerado como a área de expansão ao longo do período estudado. Tais feições podem ser observadas nas Figuras 27 e 28, e representadas no Quadro 9.

QUADRO 9 – Resultados obtidos referentes a 1962, 1972 e 2000.

Mancha urbana de 2002 (km²)	Cenário	Comprimento dos recursos hídricos (km)	Área de vegetação (km²)	Relação entre área de vegetação e área urbana (%)
54,1	1962	45,5	1,3	2,40
	1972	43,2	1,2	2,22
	1998/2000	41,1	1,3	2,40

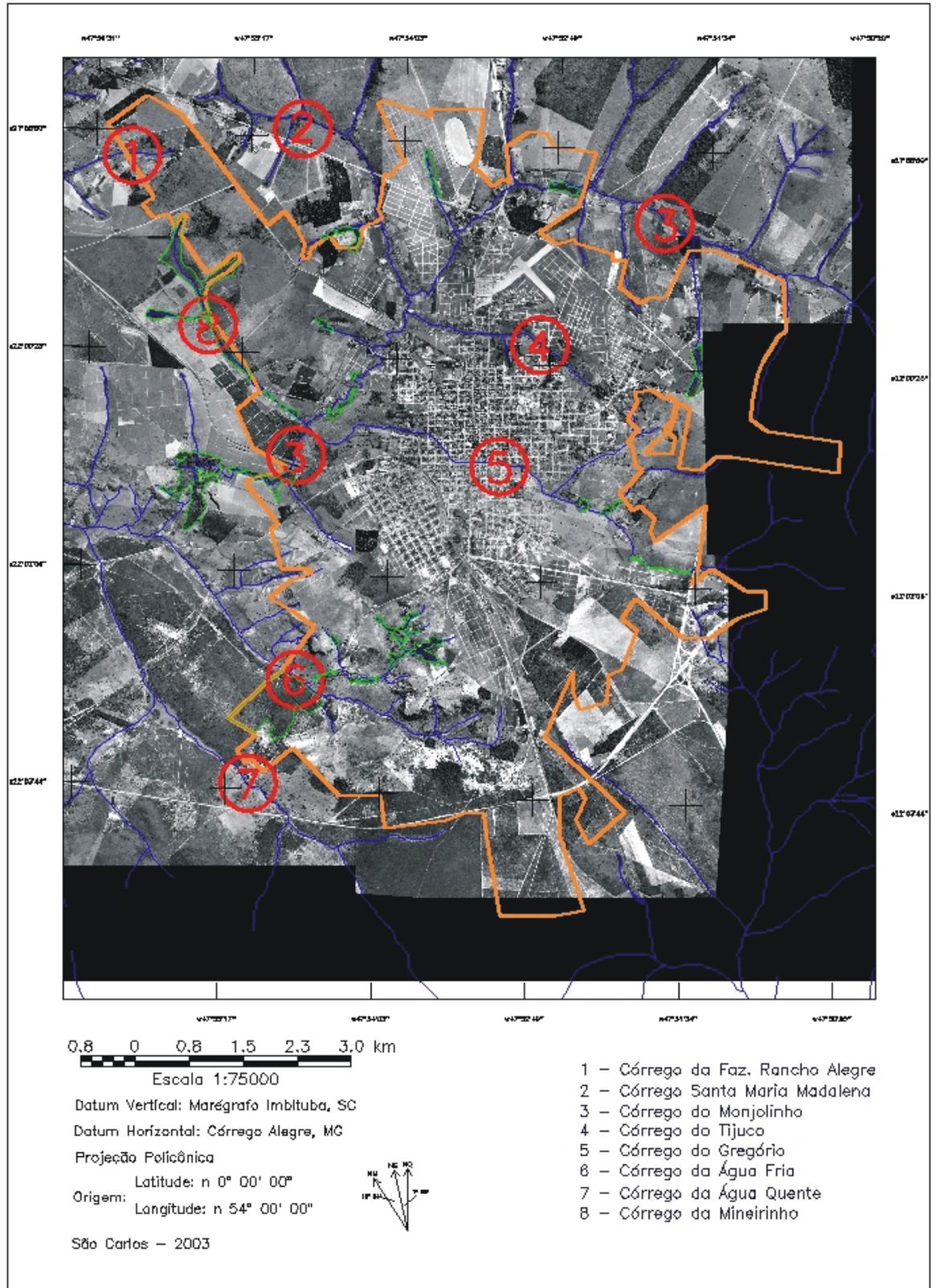


FIGURA 27 – Hidrografia e vegetação referente a 1962 com limite de 2002.

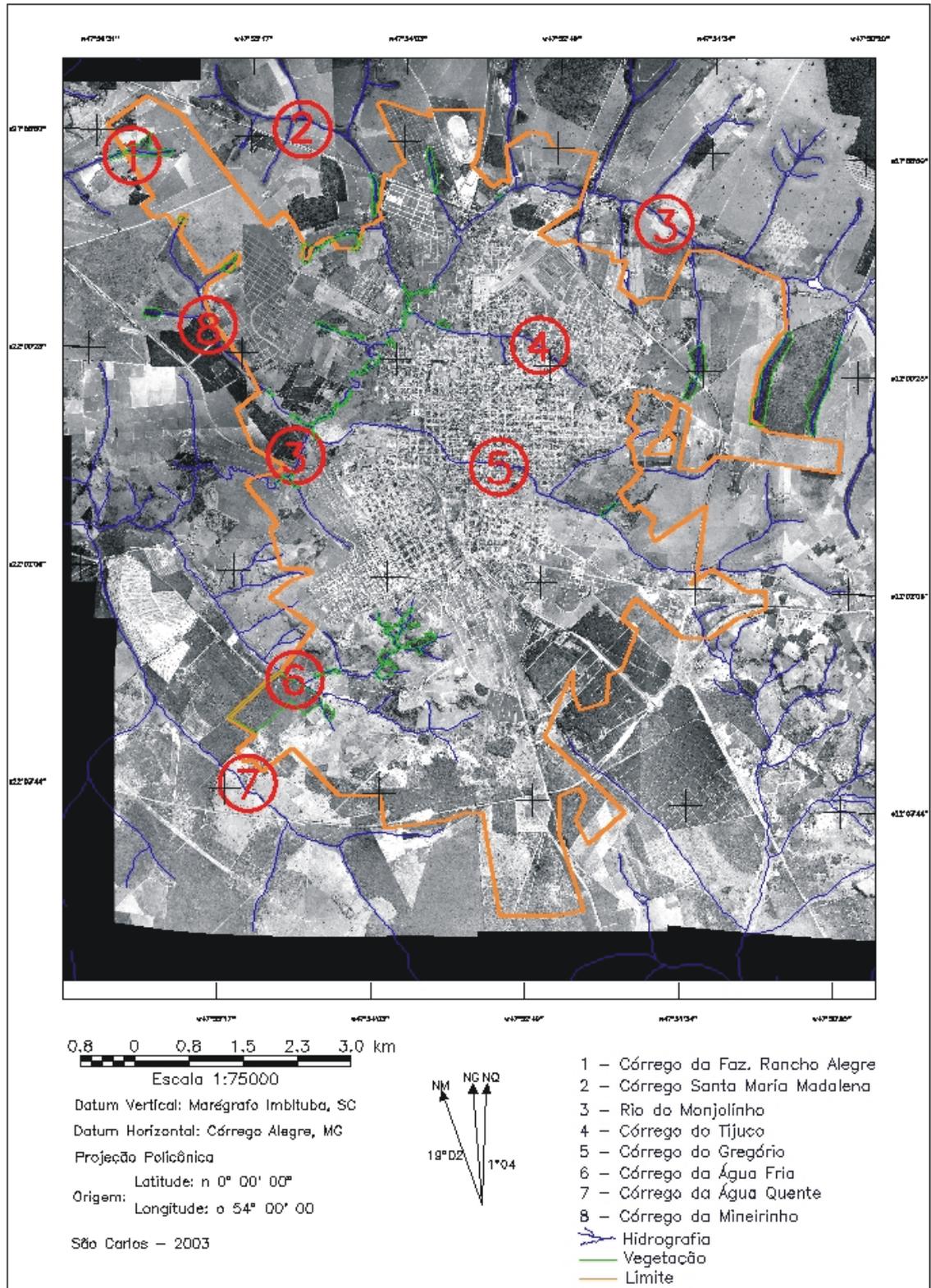


FIGURA 28 – Hidrografia e vegetação referente a 1972 com limite de 2002.

Legislação

Para verificar o cumprimento ou não do Código Florestal ao longo dos períodos de tempo, elaboraram-se *buffers* com as respectivas restrições impostas pela lei em cada período estudado, como podem ser vistos nas Figuras 29, 30 e 31.

As restrições impostas pelo Código Florestal adotadas foram:

- 30 metros de cada lado do leito do rio; e
- 50 metros em torno de nascentes e olhos d'água.

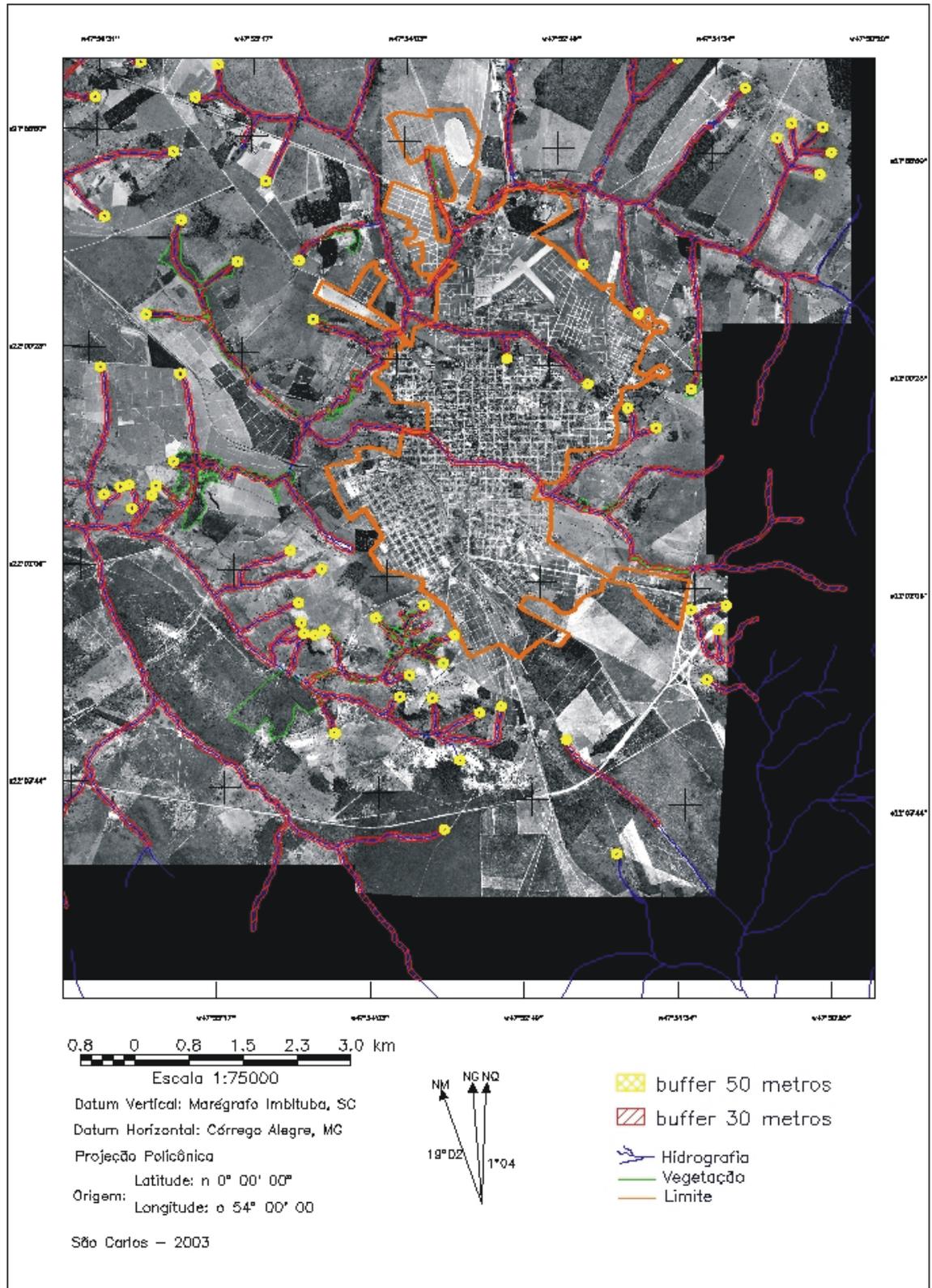


FIGURA 29 – Buffers de 30 metros ao longo dos corpos d'água e de 50 metros ao redor das nascentes em 1962.

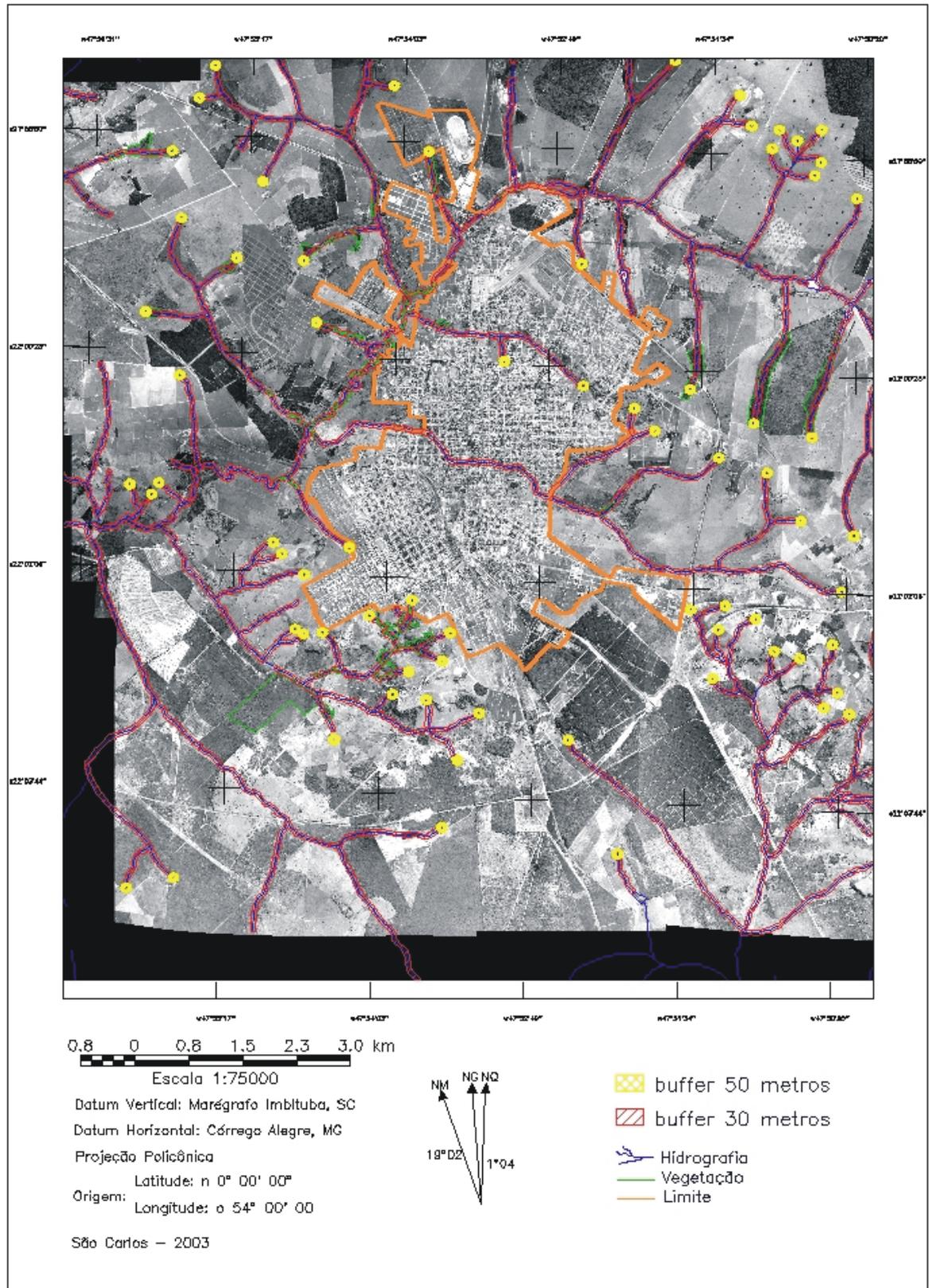


FIGURA 30 – Buffers de 30 metros ao longo dos corpos d'água e de 50 metros ao redor das nascentes em 1972.

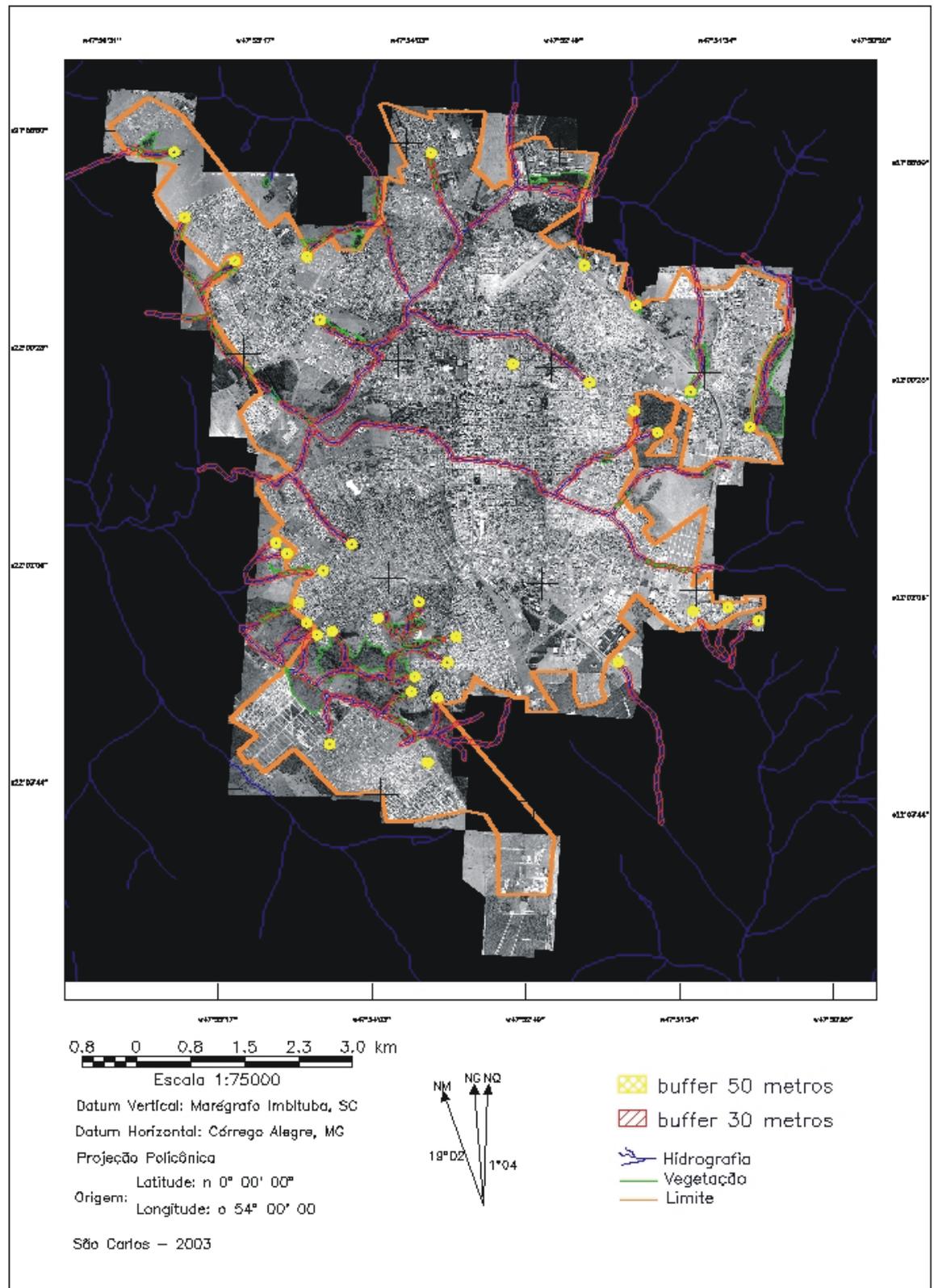


FIGURA 31 – Buffers de 30 metros ao longo dos corpos d'água e de 50 metros ao redor das nascentes em 1998.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Neste capítulo pretende-se discutir e analisar as informações obtidas a partir dos resultados alcançados e, assim, atingir o objetivo desta pesquisa.

6.1 Área Urbana

Á partir dos resultados obtidos no capítulo 5, procedeu-se a análise dos cenários quanto à evolução da área urbana. Ainda para auxiliar nas análises, a Figura 32 mostra a evolução do crescimento da área em estudo no decorrer do tempo, e a Figura 33 traz a superposição das áreas urbanas dos diferentes cenários.

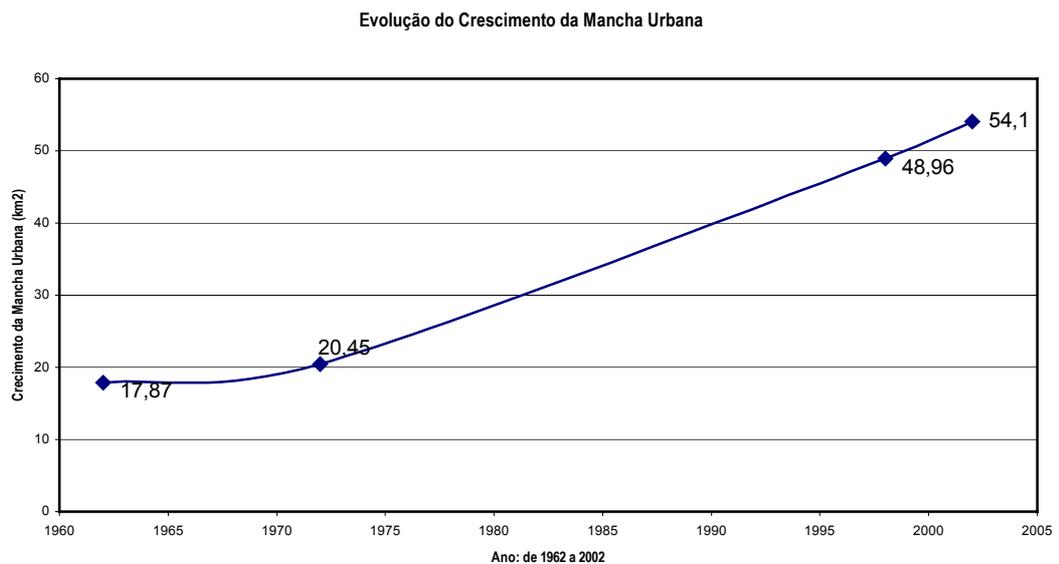


FIGURA 32 – Evolução da mancha urbana entre 1962 e 2002.

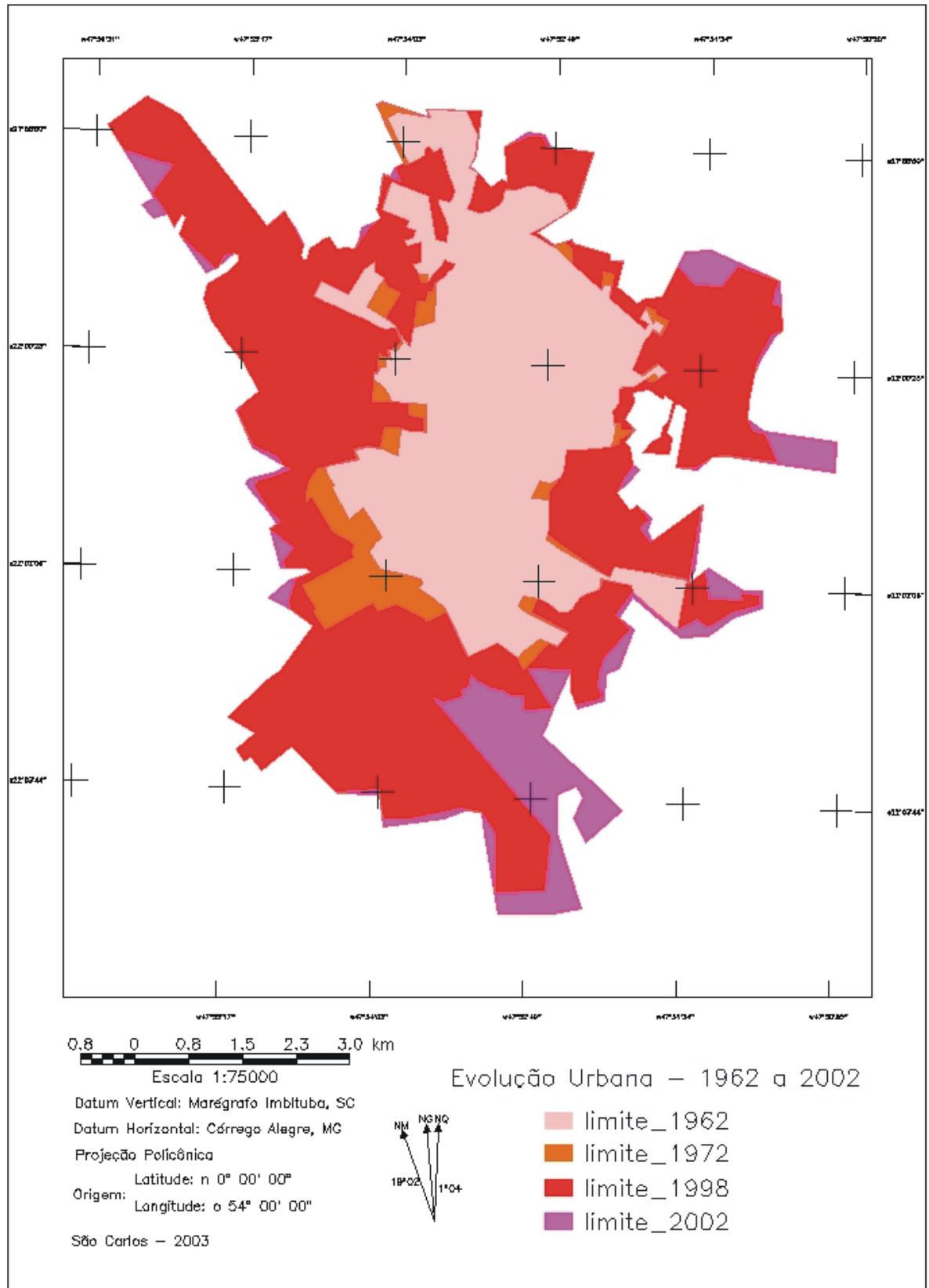


FIGURA 33 – Superposição das áreas estudadas (1962, 1972, 1998 e 2002).

Através da análise do Quadro 8, observou-se um aumento de 14,5% da área urbana entre o período de 1962 e 1972. Entre os períodos de 1972 e 1998 ocorreu um aumento de 139,0%, e entre 1998 e 2002, um incremento de 10,4%. Nota-se que entre 1972 e 1998 a mancha urbana mais do que duplicou sua área. DUPAS (2001) discute a respeito do crescimento urbano de São Carlos, em que na década de 70 ocorreu uma grande migração urbana da população do campo, motivando um acentuado crescimento da mancha urbana, conforme demonstrado no Quadro 8.

Quanto ao vetor de crescimento da área urbana, entre 1962 e 1972 não ocorreu crescimento significativo, podendo-se observar o direcionamento para sudeste. Entre 1972 e 2002, o crescimento se deu ao sul e a noroeste da cidade, ocupando, muitas vezes, segundo GASPAR (2000), áreas impróprias ou não avaliadas tecnicamente, com sérios problemas de erosão, como podem ser observadas nos loteamentos Antenor Garcia e Cidade Aracy. Assim, a cidade cresceu de modo desordenado, sem planejamento de infraestrutura urbana, regido, de uma forma geral, pela especulação imobiliária.

DUPAS (2001) considera que São Carlos, até 1998, expandiu sua mancha urbana sem levar em conta os fatores ambientais (geológicos, pedológicos e de uso do solo – desmatamento, erosão, assoreamento, urbanização e outros) e, conseqüentemente, os interesses da população.

6.2 Recursos Hídricos

No cenário de 1962, o comprimento total definido pelo Rio do Monjolinho e do Córrego Gregório foi de 6,4 km. Na observação da Figura 21, nota-se a presença de nascentes de córregos que desembocam no Rio do Monjolinho em área urbana que não sofreram interferência da expansão da cidade. No cenário de 1972, a situação é similar à do cenário de 1962, com exceção do comprimento da hidrografia, que passou a ser de 7,3 km. Tal cenário pode ser visto na Figura 22.

Durante o período de 1972 a 1998, a área analisada expandiu para sul e noroeste atingindo o Rio do Monjolinho (a noroeste) e Córrego da Água Quente (ao sul). O comprimento de hidrografia encerrado pelo limite urbano de 1998 é de 49,0 km.

O que pode ser notado nesse período é que a expansão urbana acabou interferindo nos recursos hídricos e modificando, em alguns trechos, sua forma original.

Nesse contexto, pode-se observar que o Rio Monjolinho, no trecho que hoje compreende a Avenida Francisco Pereira Lopes, em 1972 guardava seu traçado original, conservando seus meandros, e em 1998 apresenta-se confinado, em parte de sua extensão, por canais de concreto, conforme ilustrado pela Figura 34 e Figura 35.



FIGURA 34 - Comparação do traçado do Rio do Monjolinho nos anos de 1972 e 1998.



FIGURA 35 – Fotografia do Rio do Monjolinho (ano de 2002), no qual se encontra confinado entre vias de circulação.

Algumas nascentes e olhos d'água que antes eram observados em 1962 e 1972, nas fotografias de 2000 não foram constatados, possivelmente enterrados pelos loteamentos implantados sobre os locais. A Figura 36 mostra a localização das cenas discutidas na Figura 37, no qual podem ser vistos os recursos hídricos e a evolução da expansão urbana ao longo do tempo, mostrando nascentes e trechos de córregos que foram soterrados ou modificados pela ação antrópica. Na Figura 37, subdividida em Figura 37a a Figura 37j observam-se os cenários apresentados para 1962, 1972 e 2000.

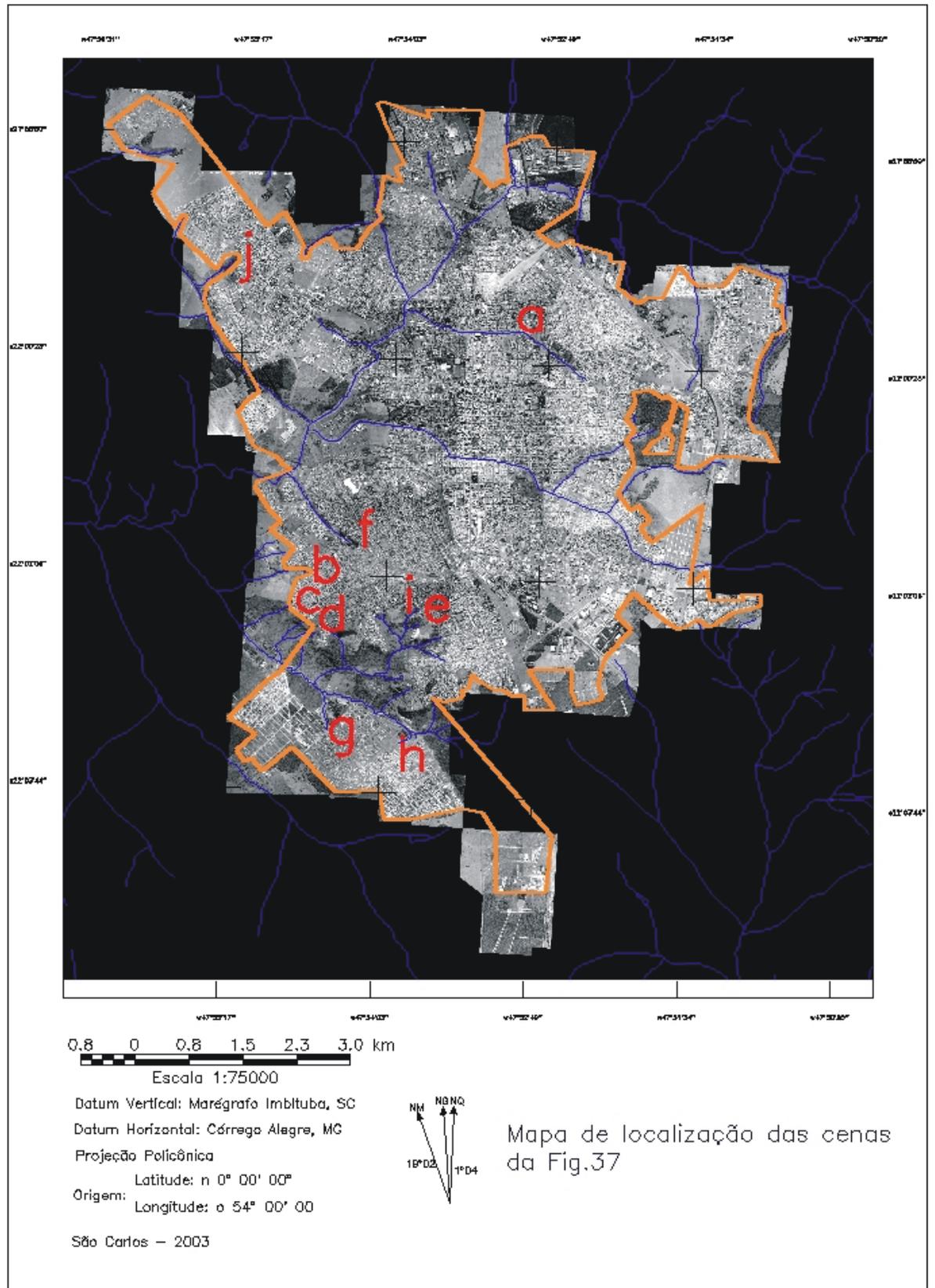


FIGURA 36 – Localização das cenas apresentadas na Figura 37.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000

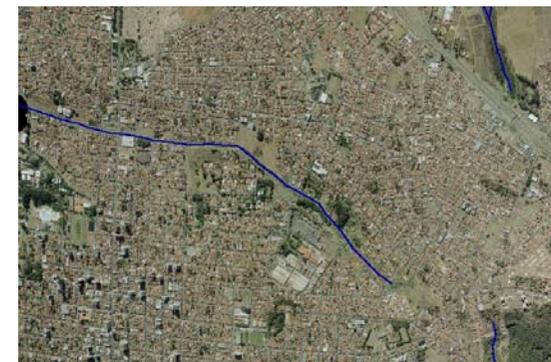
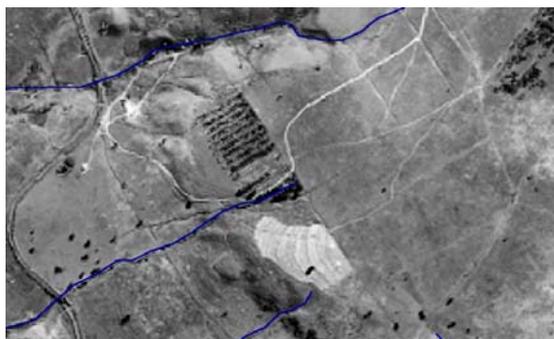


FIGURA 37 a – Neste trecho, o traçado do contribuinte do Córrego do Tijuco observado em 1962 e 1972 não consta na cena de 2000, sendo seu desaparecimento ocasionado, possivelmente, por aterramento. Percebe-se nestas cenas que o trecho entre as Ruas Luiz Vaz Toledo Pizza e São Joaquim não se apresenta canalizada em 1962 e 1972. Observa-se ainda nesta região, o adensamento na ocupação das áreas adjacentes ao córrego. A cena em questão localiza-se próxima a Rodoviária.



FIGURA 37 b – Nas cenas observadas acima, pode-se notar a ocupação de regiões com presença de nascentes. Em 1962, não era observada a ocupação urbana nas proximidades das nascentes. Em 1972, nota-se a implantação do loteamento Vila Boa Vista com ocupação de alguns lotes. Já em 1998, as regiões ao entorno da nascente e do corpo d'água encontram-se ocupadas.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000



FIGURA 37 c – Nas cenas referentes aos anos de 1962 e 1972, pode-se observar que a região, onde se encontra a nascente, não apresenta ocupação urbana. Ainda, pode-se constatar que o uso do solo nesta região era diferente nestes períodos de tempo. Para o ano de 1998, a área que anteriormente localizava-se a nascente apresenta-se ocupada, impermeabilizada e soterrada pelo loteamento Jardim Medeiros.

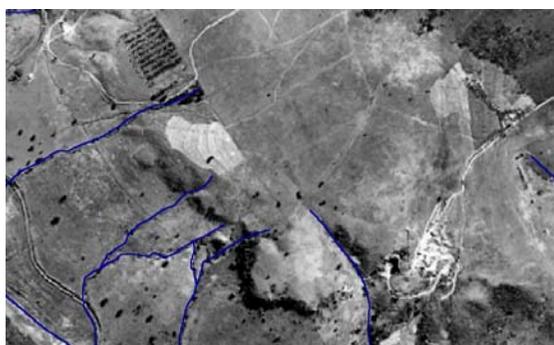


FIGURA 37 d – Da mesma forma observada nas cenas anteriores, a ocupação urbana se faz presente nas fotografias datadas de 1972. Nesta região nota-se que em 1962 não havia ocupação urbana próximas aos corpos d'águas e nascentes. Em 1972, a transformação do solo traduz-se na implantação do loteamento Jardim Bela Vista. Ainda referente à fotografia de 1972, não se verifica a atividade intensa na pedreira ali existente. Em 1998, observa-se a ocupação intensa nas proximidades da encosta, bem como a maior proximidade dos corpos d'águas.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000

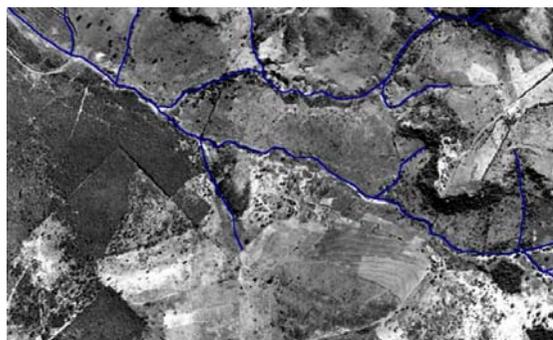


FIGURA 37 e – O trecho observado no cenário de 1962 apresenta a implantação de loteamento próximo as nascentes, porém, sem presença de edificações. O cenário de 1972 traz o início da ocupação do loteamento, inclusive com edificações bem próximas as nascentes. Em 1998, toda a região que compreende o Jardim das Rosas e Jardim Pacaembu apresenta-se densamente ocupada, notando-se a impermeabilização das áreas próximas as nascentes.

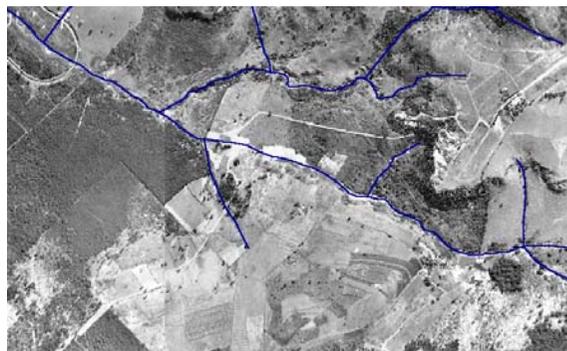


FIGURA 37 f – O parque do Bicão encontrava-se em uma sem ocupação urbana na data de 1962. Em 1972, o cenário mostra o início da ocupação a leste e sul do parque. Em 1998, toda a área ao entorno da nascente e do corpo d'água apresenta-se ocupada.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000

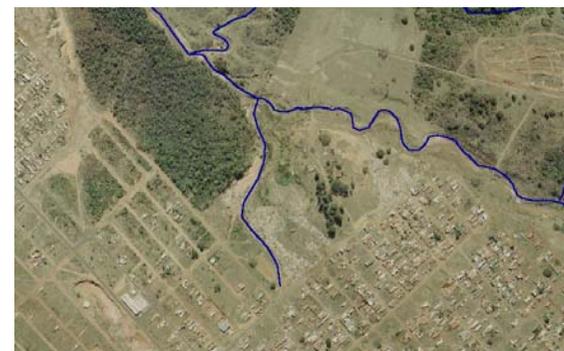


FIGURA 37 g – A cena representa uma das áreas que apresenta inúmeros problemas em sua ocupação. Em função do terreno arenoso, da ocupação urbana e da ação das águas da chuva, grandes voçorocas são encontradas nos Bairros Cidade Aracy e Antenor Garcia. Nesta região, a vegetação foi em parte suprimida ao longo do tempo e pode-se observar em 1998 o corpo d'água apresenta o canal todo sinuoso, diferente dos traçados verificados em 1962 e 1972.

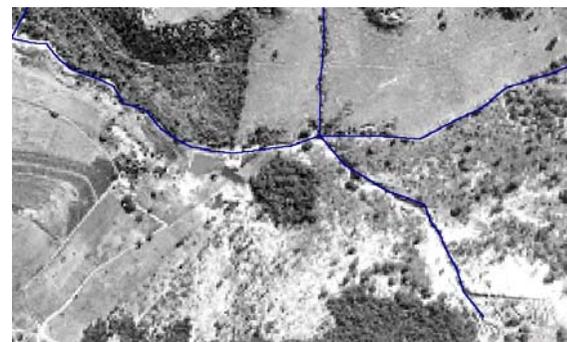
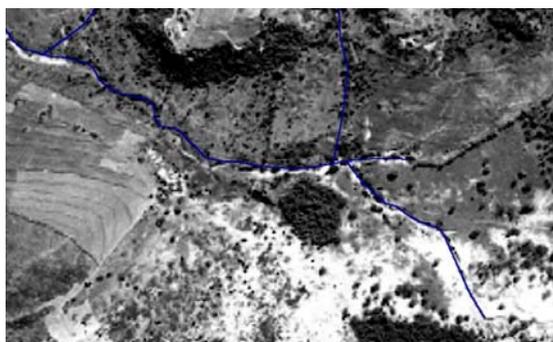


FIGURA 37 h – Esta cena localiza-se a jusante da FIGURA 37 h. Nota-se que os cenários de 1962 e 1972 apresentam configurações semelhantes. Em 2000, o cenário apresentado é muito diferente dos períodos anteriores, modificado em função da ocupação urbana do local.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000

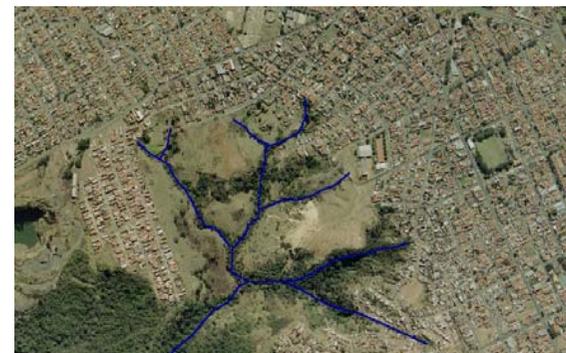


FIGURA 37 i – Na cena em questão, observa-se mais um exemplo em que a hidrografia é confinada pela ocupação urbana. A região que compreende os bairros Cooperativa Habitacional Belvedere, Jardim Santa Tereza, Jardim das Rosas, Jardim Pacaembu e Jardim Gonzaga, apresenta em 1962 a implantação de loteamento a leste da hidrografia, porém, sem a presença de edificações. Em 1972, observou-se a implantação de loteamento a sul do corpo d'água. Em 2000, todo o entorno a hidrografia apresenta-se ocupado.



FIGURA 37 j – Através da observação desta cena, verifica-se a mesma dinâmica apresentada em casos anteriores, na qual os loteamentos aparecem implantados no período de 1972 e as áreas ao entorno dos corpos d'água encontram-se ocupados na data de 1998. No caso em questão, tem-se a evolução da ocupação urbana no entorno do Córrego do Mineirinho, nas imediações do bairro Santa Felícia.

De uma forma geral, as áreas de nascentes começaram a ser ocupadas na década de 1970, em áreas de cultivo. Atualmente, as áreas ao entorno encontram-se impermeabilizadas, ocasionando problemas de erosão, uma vez que a água de chuva adquire maior velocidade, carreando as partículas do solo.

6.3 Mata ciliar

Observando a Figura 21, nota-se que no limite urbano não se têm indícios da presença de mata ciliar no ano de 1962; apenas algumas áreas de alagamento são percebidas na região mostrada na Figura 38. A situação observada em 1972 é semelhante à de 1962, podendo ser constatada na Figura 22.



FIGURA 38: Região com possível área alagável no cenário de 1962.

No cenário observado em 1998, algumas áreas com vegetação marginal aos corpos d'água encontram-se no limite ocupado pela urbanização, como pode ser visto na Figura 22.

A Figura 39 traz a localização das cenas descritas na Figura 40 que mostra a evolução das áreas de matas relevantes ao longo do período estudado. Para isso, utilizou-se o limite traçado para 2002.

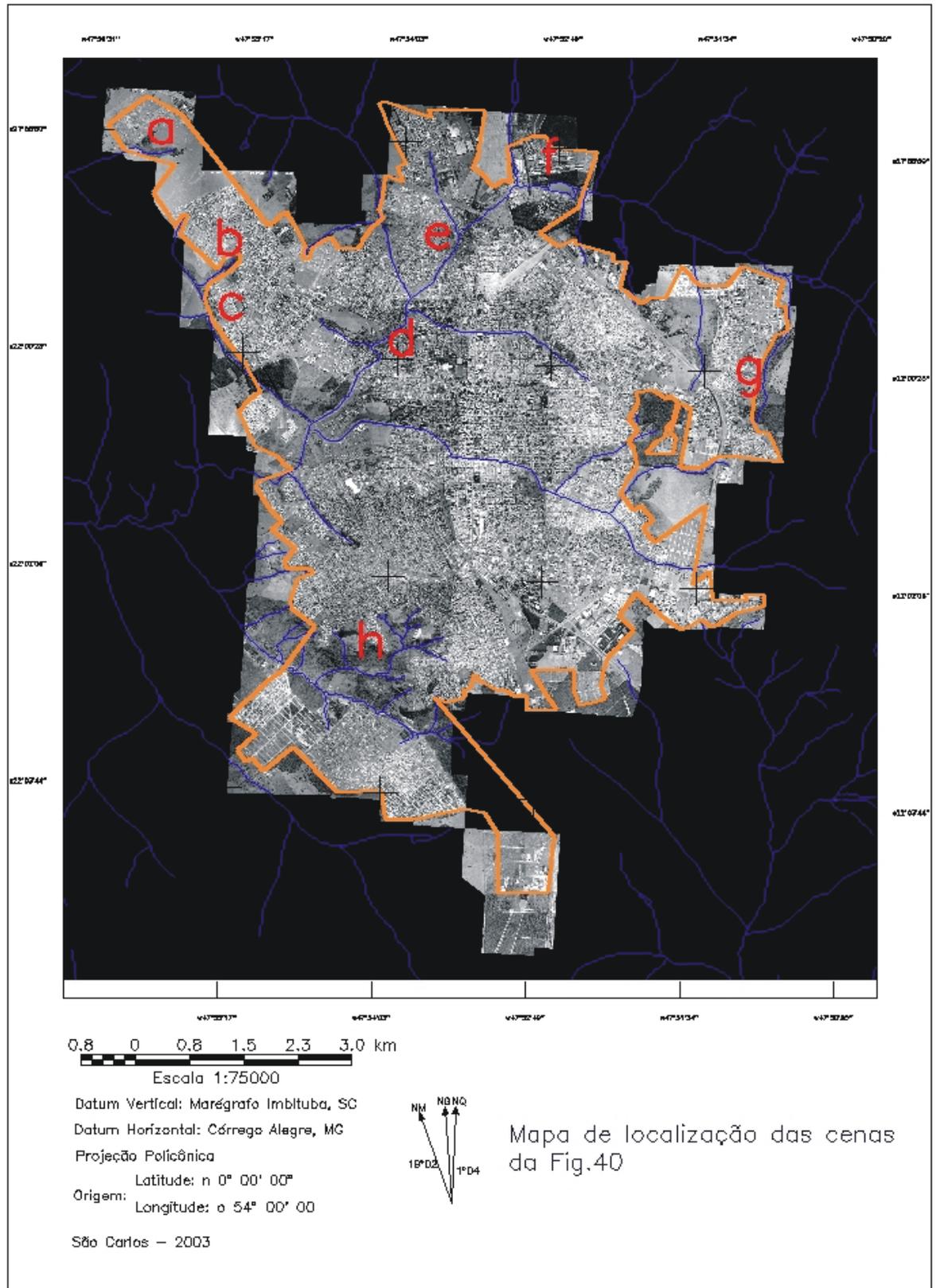


FIGURA 39 – Localização das cenas apresentadas na Figura 40.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000



FIGURA 40 a – Na análise visual da cena em 1962 não foi possível distinguir a presença de área inundável como pode ser observado para os anos de 1972 e 2000. Em visita a campo, constatou-se que a mata apresenta problemas de erosão devido à impermeabilização do loteamento parque Fehr. Esta área merece monitoramento especial pois é possui nascentes e loteamentos estão sendo implantados no entorno destas.

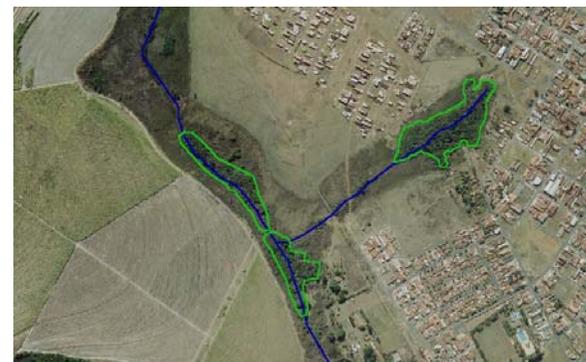


FIGURA 40 b – Esta cena mostra a presença de mata ciliar nas proximidades do bairro Santa Felícia. Os cenários dos anos estudados apresentam a ocupação urbana na área ao entorno da nascente e a necessidade de um plano de proteção e reflorestamento da mata ciliar a fim de proteger o corpo d'água.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000



FIGURA 40 c – Algumas cenas dos cenários de 1962 e 1972 apresentaram dificuldades na identificação dos padrões de vegetação devido à baixa resolução na qual as fotografias foram transformadas do meio analógico para o digital. Esta cena é um caso desta dificuldade: o mesmo trecho de vegetação foi possível ser determinado para o ano de 1962 e 2000, porém, para o ano de 1972, a cena não apresentou subsídios para identificação de vegetação no mesmo local.



FIGURA 40 d – Na extensão da Avenida Francisco Pereira Lopes notava-se a presença de vestígios de matas ciliares ao longo do Rio do Monjolinho em 1962 e 1972. No cenário de 2000, não se observa a presença da vegetação, exceção feita à mata do Planalto Paraíso, que ainda guarda características originais, porém apresenta processos erosivos em alguns de seus trechos.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000



FIGURA 40 e – Nesta cena nota-se a presença de vegetação em trechos do Córrego Santa Maria Madalena e Rio do Monjolinho. A área ao entorno do Córrego Santa Maria Madalena merece atenção para que a vegetação ciliar seja protegida, pois esta é uma região de possível expansão urbana. O cenário compreende os trechos do Córrego Santa Maria Madalena no Jardim Acapulco e Rio do Monjolinho no Jardim Jockey Clube.

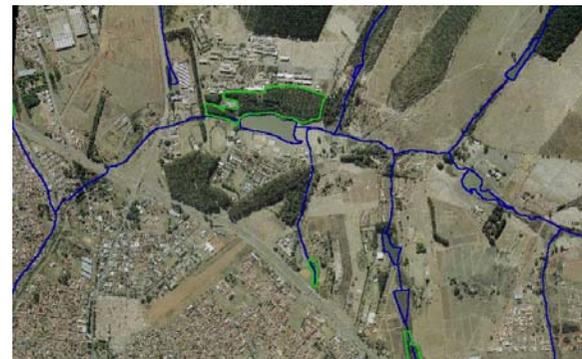
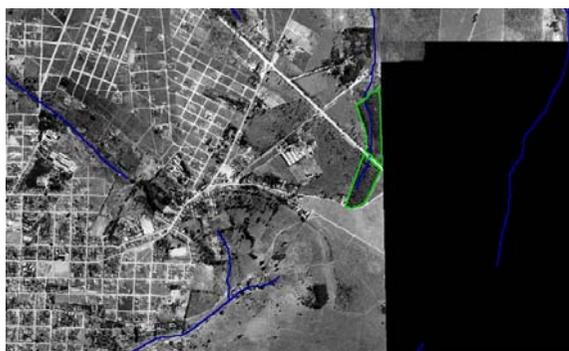


FIGURA 40 f – Estas cenas mostram a evolução da vegetação no entorno do lago da Universidade Federal de São Carlos. Em 1962, o lago apresenta-se na forma de uma área alagada, que em 1972 se configuraria no lago. Em 2000, nota-se a presença de uma mata de coníferas em umas das margens do corpo d'água.

Cenário de 1962



Cenário de 1972



Cenário de 2000



FIGURA 40 g – No cenário de 1962 não foi disponibilizada a foto que completaria a cena, mas pode-se notar que a mata ciliar ao longo do Córrego Ponte de Tábua não apresentou mudanças muito significativas ao longo do tempo. A mata que acompanha o Rio do Monjolinho em 1972 apresentava padrões diferentes de vegetação. Em 2000, a vegetação anotada em 1972 apresentou um crescimento como observado no cenário de 2000.

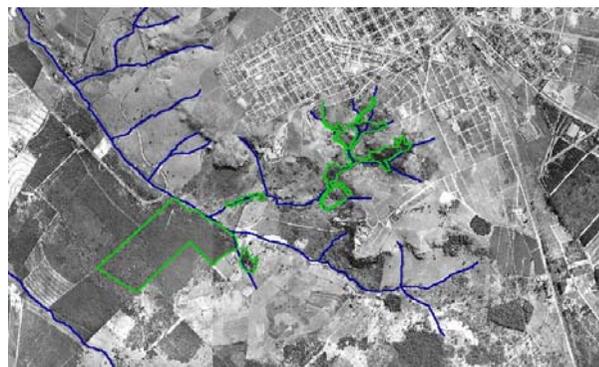
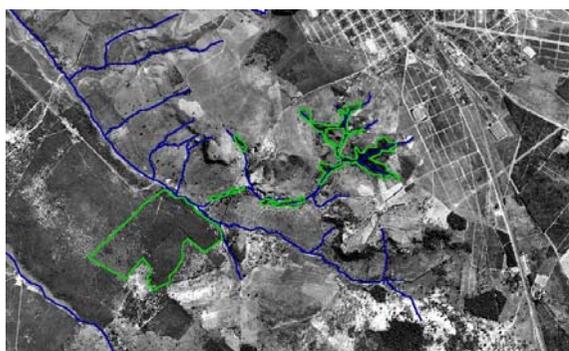


FIGURA 40 h – A mata existente na serra que permite o acesso ao bairro Cidade Aracy apresentou evolução ao longo do tempo tornando-se mais homogênea em 2000. A mata adjacente aos bairros Cidade Aracy e Loteamento Social Antenor Garcia apresentou evolução diferente: parte da mata foi suprimida dando lugar aos loteamentos anteriormente citados.

A análise da vegetação efetuada tem um carácter mais qualitativo que quantitativo, pois as fotos de 1962 e 1972 não apresentaram definição suficiente para discernir padrões de vegetação. Em algumas regiões em que intuitivamente conclui-se que deveria haver vegetação, pela análise visual não foi possível detectá-las. Porém, de forma geral, pôde-se ter uma visão da realidade em cada período de tempo e verificar a aproximação das áreas ocupadas dos recursos hídricos.

6.4 Legislação Ambiental

Através da análise das Figuras 29, 30 e 31, verificou-se a interface entre os *buffers* criados a partir dos parâmetros ditados pelo Código Florestal e a hidrografia digitalizada nas fotografias aéreas. Para o ano de 1972, pode-se visualizar algumas situações descritas na Figuras 41a, 41b e 41c.



FIGURA 41a - Nesta região, a urbanização atingiu as bordas dos limites ditados pelo Código Florestal, porém, essa área não apresentava vegetação nas margens do Córrego do Tijuco Preto.

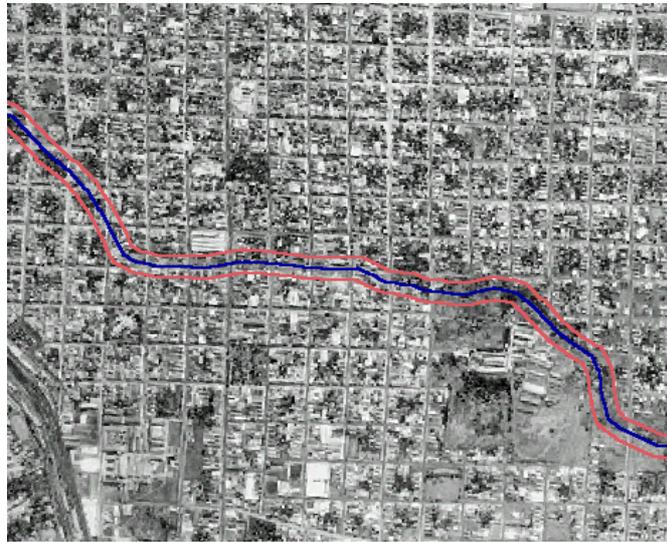


FIGURA 41b - O Córrego do Gregório, que corta o centro da cidade de São Carlos, apresenta trechos canalizados e margens impermeabilizadas. Essa situação é anterior à criação do Código Florestal em 1965.



FIGURA 41c - Nesta região, nota-se que o loteamento estava sendo implantado dentro de uma área de preservação permanente. Bairro Santa Teresa.

Para a verificação do cumprimento do Código Florestal, em 1998, foram analisadas algumas áreas descritas nas Figura 42a a 42e.



FIGURA 42a - Esta é uma área que merece uma atenção especial do poder público, pois possui nascente e ao seu entorno já estão sendo vendidos lotes para uma nova ocupação. Parque Fehr.

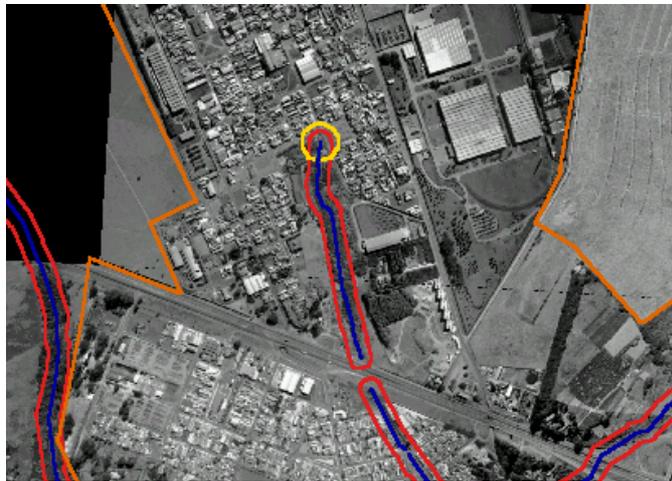


FIGURA 42b - O *buffer* de 50 metros ao redor de nascentes não foi atendido e pode-se ver esta área impermeabilizada por ruas. Jardim Jockey Clube.

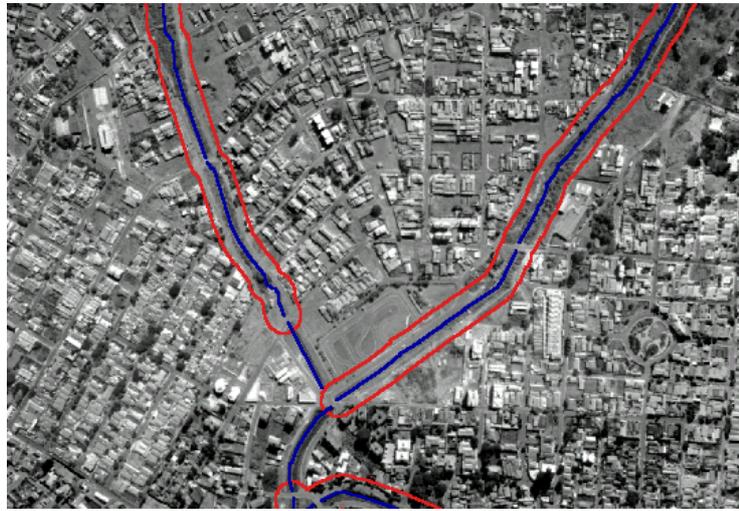


FIGURA 42c - A Avenida Francisco Pereira Lopes confina o Rio do Monjolinho, não cumprindo os 30 metros ditados pela lei. Cidade Jardim.



FIGURA 42d - Na região acima demonstrada nota-se o não cumprimento do Código Florestal. O círculo amarelo indica onde deveria ser a área de proteção ambiental. Essa área, porém, encontra-se ocupada. Jardim Medeiros e Bela Vista.



FIGURA 42e - Outro exemplo de ocupação em área de preservação permanente. Jardim Gonzaga.

6.5 Uso e Ocupação do Solo

A Figura 43 permite uma visualização da imagem orbital e a classificação supervisionada realizada pelo software SPRING. O mapa de uso e ocupação do solo já foi apresentado na Figura 26. A seguir são mostrados os resultados obtidos dessa classificação:

Classificação Supervisionada - SPRING	Reclassificação
Cálculo de Áreas por Geo-classe	Cálculo de Áreas por Geo-classe (km ² /km) :
Área (km ²)	Área (km ²)
urbano_1 : 14.534325	urbano_1 : 19.431675
urbano_2 : 6.948450	urbano_2 : 18.886950
veg_nativa : 32.228325	veg_nativa : 29.052225
veg_reflor : 4.468275	veg_reflor : 6.771825
cultura_1 : 18.619875	cultura_1 : 17.969175
solo exposto: 28.7676	cultura_2 : 15.791175
campo : 70.245000	campo_1 : 72.767700
Área total das classes:175.811850	solo_exposto : 1.260675
Área total dos Polígonos não classificados: 11.933100	mineracao : 1.027125
Área total do Plano de Informação: 187.744950	lagos : 0.353475
	Área total das classes:183.312000
	Área total dos Polígonos não classificados: 4.432950
	Área total do Plano de Informação: 187.744950

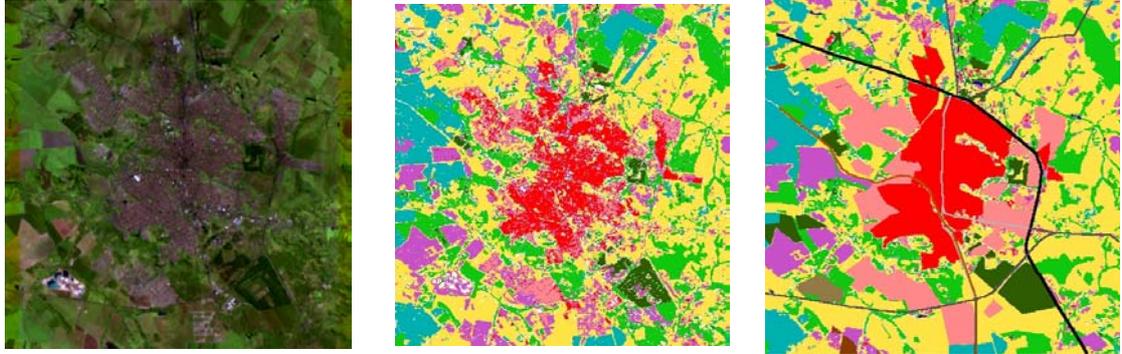


FIGURA 43 – Imagem orbital e respectiva classificação supervisionada.

A classificação realizada a partir da imagem orbital Landsat ETM+7 mostra que a área estudada tem em grande parte de seu entorno caracterizado pelo tema campo. Na porção noroeste, existe concentração de atividade agrícola sucroalcooleira, bem como na porção sudoeste, que apresenta áreas preparadas para o cultivo ou que já sofreram o corte da cana-de-açúcar. O algoritmo classificador apresentou confusão na discretização dos temas urbano_1, urbano_2 e solo exposto. Isso se deve ao fato das classes urbano e solo exposto apresentarem respostas espectrais semelhantes, uma vez que a área urbana é constituída não só de edificações e pavimentação, mas também de lotes vagos e espaços não impermeabilizados. A presença de polígonos brancos demonstra outra confusão do classificador, que não conseguiu associar a região a uma das classes criadas. A classificação permite uma análise preliminar de como o solo ao entorno da área urbana está sendo utilizado, fornecendo informações para o estabelecimento de diretrizes de uso do solo e crescimento urbano.

Para obter uma melhor análise do uso e ocupação do solo no entorno da área estudada procedeu-se a reclassificação da imagem através da homogeneização de temas. A partir da observação das fotografias aéreas e visitas a campo, foi possível identificar os temas das classes nos quais o SPRING apresentou confusão. Ainda, na reclassificação foram criados dois outros temas – mineração e lagos – para representar regiões características na cena.

6.6 Considerações sobre a metodologia utilizada

A realização dos mosaicos a partir das fotografias aéreas de 1962 e 1972 não apresentou os resultados esperados, porém foram satisfatórios. O algoritmo que executa o georreferenciamento não se mostrou adequado para correção das distorções das bordas das fotografias. Devido a isso, não foi possível a sobreposição adequada das feições estudadas utilizando as ferramentas disponíveis no SIG.

7. CONCLUSÕES

Cenário de 1962

No cenário de 1962, os corpos d'água, com exceção do Córrego do Gregório e Córrego do Tijuco Preto, não sofriram a interferência da ocupação urbana, uma vez que esta ainda não havia expandido para as regiões drenadas pelos corpos d'água.

O Córrego do Mineirinho, localizado a noroeste da área urbana de São Carlos, apresentava nascente isenta de ocupação urbana, possuindo formações arbóreas e planície de inundação. O Córrego da Fazenda Rancho Alegre também se apresentava isento da interferência antrópica. Ainda na porção noroeste, na região do Córrego Santa Maria Madalena notava-se a implantação de loteamentos, sem a presença de edificações.

O Rio do Monjolinho, no trecho definido entre a Rodovia Washington Luiz e o encontro com os Córregos Santa Maria Madalena e Tijuco Preto, drenava área de loteamento sem edificações, não sendo observada a existência de vegetação significativa ao longo do corpo d'água. Dirigindo para sudeste, até a confluência com os Córregos do Gregório e Santa Maria Madalena, o corpo d'água apresentava meandros, com a presença de vegetação mais significativa em alguns trechos e de ocupação urbana apenas na margem direcionada ao centro da cidade. Na porção nordeste, o Rio do Monjolinho não sofria interferência da urbanização.

O Córrego do Gregório, que corta o centro da cidade de São Carlos, apresentava formações arbóreas em alguns trechos a leste, mas também já era observada a presença de loteamentos próximos ao corpo d'água.

A sudoeste da área urbana, a região drenada pelo Córrego da Água Quente não sofria interferência da ação antrópica e podia ser observada vegetação entre os Córregos

da Água Quente e da Água Fria, onde atualmente localizam-se os bairros Cidade Aracy II e Antenor Garcia. Na Serra que permite o acesso a essa região, notava-se a presença de vegetação apenas ao longo da rede de drenagem natural.

Embora o Código Florestal seja de 1965, nesta pesquisa verificou-se a situação hipotética do cumprimento do Código Florestal para 1962. No Córrego do Tijuco Preto, a faixa de 30 metros prevista estava sendo respeitada, bem como a faixa de 50 metros ao entorno de nascente. O Córrego do Gregório mostrava-se impermeabilizado em suas margens, numa faixa menor que os 30 metros exigidos. Mesmo nos trechos mais a sudeste, onde não havia ocupação mais intensa, em alguns trechos a faixa de 30 metros não fora respeitada.

Cenário de 1972

A situação observada em 1972 não é muito diferente da observada em 1962, com a exceção da implantação de novos loteamentos mais ao sul e a noroeste da cidade.

O Córrego do Mineirinho começou a sentir a influência da implantação do loteamento Parque Santa Felícia, onde o arruamento, embora respeitando os parâmetros do Código Florestal, estava em uma área muito próxima à nascente. A vegetação não apresentou mudanças significativas em relação a 1962. Os Córregos Santa Maria Madalena e o da Fazenda Rancho Alegre não apresentaram alterações relevantes em relação ao período anterior.

Ao longo do Córrego do Tijuco Preto, notou-se um adensamento urbano com a ocupação das quadras livres observadas em 1962. Percebeu-se que uma das nascentes teve a faixa de 50 metros desrespeitada.

A região ao entorno do Rio do Monjolinho, entre as confluências dos Córregos Santa Maria Madalena/Tijuco Preto e Córregos do Gregório/Mineirinho, apresentou mudanças em relação ao cenário anterior, onde foi notado o aparecimento de loteamentos a noroeste, e adensamento urbano a sudeste. O Rio do Monjolinho, nessa região, sofreria mudanças em seu traçado a partir de 1974, data do início das obras da Av. Francisco Pereira Lopes. Quanto ao cumprimento do Código Florestal, alguns trechos apresentaram irregularidades.

A situação do Córrego do Gregório é semelhante à apresentada em 1962, com exceção feita à porção leste, onde ocorreu incremento na ocupação urbana.

A bacia do Córrego da Água Quente apresentou mudanças em relação a 1962. As nascentes localizadas nos atuais bairros Pacaembu e Santa Teresa tiveram seu entorno ocupado, e numa das nascentes a faixa de 50 metros não foi respeitada. A mata localizada entre o Córrego da Água Quente e o da Água Fria teve parte da mata original substituída por atividade agrícola.

Cenário de 1998/2002

Em 2000, o cenário observado mostrou-se preocupante em relação aos corpos d'água. Na área ao entorno do Córrego da Fazenda Rancho Alegre, notou-se a ocupação urbana com a implantação do Parque Fehr, e novos loteamentos estão sendo implantados. Com a impermeabilização do Parque Fehr, a água das chuvas tem provocado erosão na mata adjacente à nascente. Essa é uma área que merece atenção do poder público, pois a implantação de novos loteamentos, com conseqüente impermeabilização, podem vir a prejudicar esse recurso hídrico. Ainda, nas épocas de chuva, a Rua José Petroni, nas imediações do Jardim Primavera, apresenta alagamentos.

As nascentes do Córrego do Mineirinho também tiveram o seu entorno ocupados e observou-se, em visita a essas áreas, erosão decorrente da descarga das águas das chuvas na cabeceira desses corpos d'água. Ao longo do córrego notou-se a presença de matas nativas em alguns trechos, bem como a ocupação das áreas próximas a ele. Embora a legislação esteja sendo respeitada, a ocupação deve ser analisada pelo poder público para preservação das áreas de nascentes, bem como a impermeabilização das áreas pertencentes a essa microbacia, pois o Córrego do Mineirinho desemboca no Rio do Monjolinho, numa região que vem sofrendo com inundações na época das chuvas. Assim, com a impermeabilização, toda a água da chuva que antes se infiltrava escoará para o Córrego do Mineirinho e descarregará na confluência citada anteriormente. Soma-se, ainda, que o Córrego do Gregório também desemboca nesse local. O Córrego do Gregório, em trechos na Av. Comendador Alfredo Maffei, próximos ao SESC, apresenta as margens erodidas devido à ação das águas das chuvas e representam perigo aos transeuntes. A leste, o córrego apresenta-se confinado pelas vias e possui alguns vestígios de matas nas proximidades da Rodovia Washington Luiz.

O Córrego do Tijuco Preto, na região da Rodoviária, foi canalizado, e o braço d'água existente em 1962 foi soterrado com a nascente que ali existia. O Córrego Santa

Maria Madalena teve trechos confinados por vias de trânsito. Merece atenção a nascente existente nas proximidades do Jardim Acapulco, que ainda apresenta vegetação intacta.

O Rio do Monjolinho apresentou mudanças significativas entre 1972 e 2002 no ambiente urbano. Seu traçado foi alterado devido à construção da Av. Francisco Pereira Lopes e grande parte de sua microbacia foi impermeabilizada. A impermeabilização trouxe conseqüências negativas para o corpo d'água, uma vez que este não tem capacidade de suporte de toda a água da chuva e acaba por transbordar, ocasionando transtornos para os munícipes. Isso pode ser notado principalmente na região de encontro com os Córregos do Gregório e do Mineirinho, próximo ao Shopping Iguatemi, local com constantes cheias.

A área drenada pelo Córrego da Água Quente também apresentou mudanças significativas no decorrer do período estudado devido à ação antrópica. Pode ser visto nessa região grandes voçorocas e erosões no curso do córrego. Da mata antes existente entre os Córregos da Água Quente e da Água Fria restou apenas uma pequena parte, sendo que o restante da área está ocupado pelos loteamentos Cidade Aracy e Antenor Garcia. Na Serra da Aracy, notou-se uma mudança na vegetação, que antes só acompanhava a rede de drenagem, atualmente a vegetação cobre uma área maior .

A partir das análises, percebeu-se que a ocupação urbana atingiu os limites dos corpos d'água sem a preocupação de proteção ou conservação desses recursos. Isso pode ser comprovado com as nascentes que foram soterradas ou que estão confinadas pela ocupação. Tais detalhes, mostram, ainda mostra que o Código Florestal não foi cumprido na maioria dos casos.

Além disso, a impermeabilização das áreas adjacentes aos recursos hídricos mostrou-se uma das causas dos problemas de assoreamento e erosão dos corpos d'água, bem como das enchentes e alagamentos.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Cabe como continuação deste trabalho, o estudo dos recursos hídricos nas áreas onde a cidade está crescendo, visando à preservação e proteção das mesmas, a fim de garantir a utilização sustentável desse recurso.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, H. **Cidadania e meio ambiente**. In: Meio ambiente e democracia. Rio de Janeiro: IBASE, 1992. Disponível em <<http://www.intelecto.net/cidadania/meio-4.html>> Acesso em 20 jun.2001.

ALENCAR, A.A.C. et al. Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da amazônia oriental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. **Anais**. Disponível em <<http://iris.sid.inpe.br:1905/col/sid/inpe.br/rosemary/1998/09.30.10.54/doc/target.html>> Acesso em 19 out.2002.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/legis_outras.htm>. Acesso em 18 ago.2002.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pelas leis 7.803/89 e 7.875/89. **Código Florestal Brasileiro**. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/legis_outras.htm>. Acesso em 18 ago.2002.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/legis_outras.htm>. Acesso em 18 ago.2002.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais**. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/legis_outras.htm>. Acesso em 18 ago.2002.

BRASIL. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/legis_outras.htm>. Acesso em 18 ago.2002.

CÂMARA, G. **Anatomia de um SIG**. Rio de Janeiro:1.996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>>. Acesso em 19 dez.2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Aeroespaciais, 1996. CD-ROM de instalação do software SPRING 3.6.03. 2002.

CASTRO, A.G. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**. 1992. 145 p. Dissertação de Mestrado – INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Aeroespaciais, São José dos Campos. 1992.

CHAO, R.G.C., et al. Dinâmica urbana a partir de dados multitemporais e multisensores: o caso de Havana, Cuba. 1998. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais ...** Disponível em <<http://iris.sid.inpe.br:1905/col/sid/inpe.br/rosemary/1998/09.30.10.54/doc/target.html>> Acesso em 19 out.2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1999. 233 p.

COLLARES, E.G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari, SP**. 2000.193 p. 2v. Tese de Doutorado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COSTA, A.J.F. **Consórcios de recursos hídricos**. 1998. In: Dicas, 111., 1998. Disponível em: <<http://federativo.bndes.gov.br/dicas/D111%20-%20Cons%C3%B3rcios%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.htm>>. Acesso em 05 ago.2001.

COSTA, S.M.F ; CINTRA, J.P. Proposta de estudo de áreas metropolitanas: um modelo utilizando as tecnologias de SIG e sensoriamento Remoto. 1998. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais...** Disponível em <<http://iris.sid.inpe.br:1905/col/sid/inpe.br/rosemary/1998/09.30.10.54/doc/target.html>> Acesso em 19 out.2002.

COSTA, S.M.F.; SANCHES, R. Crescimento urbano e meio ambiente: uma abordagem metodológica utilizando geotecnologias. 2001. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, X., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Disponível em <<http://iris.sid.inpe.br:1905/col/sid/inpe.br/rosemary/1998/09.30.10.54/doc/target.html>> Acesso em 19 out.2002.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.170 p.

DUPAS, F.A. **Geoprocessamento aplicado à avaliação da dinâmica ambiental de projeto de mineração na Amazônia: estudo do caso da Mina Pitinga**. 1997. 236p. Tese de Doutorado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

DUPAS, F.A. **Crescimento urbano e suas implicações ambientais: proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e sig: estudo do caso de São Carlos, SP**. 2001. Dissertação de Pós-doutorado - FAPESP, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001. 1 CD-ROM.

DUPAS, F.A; ROHM, S.A. **Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP: base do planejamento urbano e rural.** 2002. Relatório parcial do projeto de Políticas Públicas pela FAPESP - processo n. 98/10924-3. Universidade Federal de São Carlos e Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos, 2002.

EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows. User's Guide, version 2.0.** Worcester-MA: Clark University, 1997.

FIORILLO, C.A.P. **Curso de direito ambiental brasileiro.** 2^a ed. São Paulo: Saraiva, 2001. 404 p.

FONSECA FILHO, H. **Módulo 12: Sensoriamento Remoto.** In: Curso de Especialização em Geoprocessamento. São Carlos: 2001.

GASPAR, W. **Análise do processo erosivo do loteamento social Antenor Garcia.** Proposta para expansão do bairro. 2000. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

GONDOLO, G.C.F. **Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental: bacia do Guarapiranga, região metropolitana de São Paulo.** São Paulo: Annablume Editora, 1999. 164 p.

GRECCHI, R.C. **Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba, SP, com auxílio de geoprocessamento.** 1988. 132 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.

GREGÓRIO, C.E.. **Análise das áreas de preservação permanente através do uso de imagens orbitais Landsat e Spot: em uma área localizada no município de Campinas (SP).** 2000. 95 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

HUXHOLD, W. E. **An introduction to urban geographic information systems.** New York: Oxford University Press, 1991. 336 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING 3.6.03.** São José dos Campos: INPE, 2002. 1 CD_ROM.

JESUS, A. **Estudo da relação entre geomorfologia e evolução do uso do solo mediante o emprego de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento: bacia do Alto Anhanduí, MS.** 2000. 144 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

LIPORACI, S.R. **Sistemática de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente visando ao planejamento ambiental do município de Poços de Caldas**

(MG). 1999. 194 p. Tese de Doutorado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MACHADO, P.A.L. **Direito ambiental brasileiro**. 9º ed. São Paulo: Malheiros, 2000. 1064 p.

MARCONDES, M. J. A. **Cidade e natureza: proteção dos mananciais e exclusão social**. São Paulo: Studio Nobel, 1999. 238 p.

MARTIN, D. **Geographic Information systems and their socioeconomic applications**. London: Routledge, 1991. 179 p.

MAURO, C. A. (Org). **Laudos periciais em depredações ambientais**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Ambiental, DPR, IGC, Unesp, 1997.

MEDILHINA, A.. **A degradação da mata ciliar e os impactos nos recursos hídricos desencadeados pela expansão urbana de Rio Claro-SP no entorno do Rio Corumbataí**. 1999. 181 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MENDES, C.A.B. **Planejamento nacional de recursos hídricos baseado no uso de técnicas de geoprocessamento**. 1997. In: Encontro das Águas, I., 1997, Fortaleza. Disponível em: <www.iica.org.br/aguas/trabalhos/painel1.htm>. Acesso em 05 set.2001.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2000. 784 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 250 p.

MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 1999. 352 p.

NISHIYAMA, L. (1991). **Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos, SP**.1991. 228p. 2 volumes. Dissertação de mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1989.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Carlos: Departamento de Hidráulica e Saneamento/EESC – Universidade de São Paulo. 2001. Notas de Aula.

OLIVEIRA, L.M. **Controle de fontes dispersas de poluição pela fixação da largura mínima de faixa de vegetação natural ou recomposta ao longo de corpos d'água**.

1998. 113 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PEREIRA, P.A.S. **Rios, redes e regiões: a sustentabilidade a partir de um enfoque integrado dos recursos terrestres.** Porto Alegre: AGE, 2000. 348 p.

PRADO, R.B. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo do Médio Rio Pardo – SP (1985 a 1997).** 1999. 209 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Conferência da Cidade: diretrizes para elaboração do Plano Diretor.** São Carlos: 2002. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, E.A. **A utilização do sistema de informações geográficas no estudo da dinâmica do escoamento superficial em áreas urbanas: aplicação na bacia do Córrego do Gregório.** 1996. 207 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

ROCHA, V.L.; FORESTI, C. **O uso do solo urbano e os problemas ambientais da cidade de Iguape-SP.** 1998. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais...** Disponível em <http://iris.sid.inpe.br:1905/col/sid/inpe.br/rosemary/1998/09.30.10.54/doc/target.html> Acesso em 19 out.2002.

SANTOS, M.C.R. **Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT), 1990. 52 p.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing models and methods for image processing.** San Diego: Academic Press, 1997. 522 p.

SEGANTINE, P.C.L. **Aerofotointerpretação e fotogrametria.** São Carlos: EESC/Departamento de Transportes. 1988. 134 p. Notas de Aula.

SIMAO JUNIOR, R. **Uso do sig como ferramenta de auxílio na recuperação de áreas degradadas.** 2001. 92 p. Dissertação de mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SOUZA, P.H. de. **A Ponderação de fatores ambientais para a proposição de zoneamento para distritos industriais utilizando o SIG.** 1998. 183 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

TABACZENSKI, R.R. **A utilização do sistema de informações geográficas para o macrozoneamento ambiental.** 1995. 140 p. Dissertação de Mestrado – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.