

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

NÍVEA ADRIANA DIAS PONS

**LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO-  
GEOTÉCNICO DE ÁREAS DEGRADADAS NA CIDADE DE  
SÃO CARLOS - SP, COM AUXÍLIO DE  
GEOPROCESSAMENTO**

**V.I**

São Carlos  
2006

NÍVEA ADRIANA DIAS PONS

**LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO-  
GEOTÉCNICO DE ÁREAS DEGRADADAS NA CIDADE DE  
SÃO CARLOS - SP, COM AUXÍLIO DE  
GEOPROCESSAMENTO**

Tese apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo como  
parte dos requisitos para a obtenção  
do Título de Doutor em Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

**V.I**

São Carlos  
2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca –EESC/USP

P798L Pons, Nívea Adriana Dias  
v.1-2 Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de  
áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio  
de geoprocessamento / Nívea Adriana Dias Pons. -- São  
Carlos, 2006.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São  
Carlos-Universidade de São Paulo, 2006.

Área: Geotecnia.

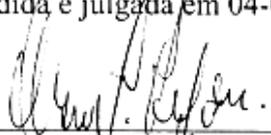
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon.

1. Áreas degradadas. 2. Geológico-geotécnico.  
3. Geoprocessamento. 4. Sensoriamento remoto. 5. Ambiente  
urbano. 1. Título.

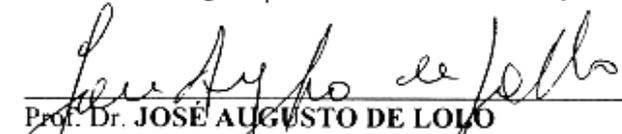
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidata: Engenheira **NÍVEA ADRIANA DIAS PONS**

Tese defendida e julgada em 04-04-2006 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **OSNI JOSÉ PEJÓN (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

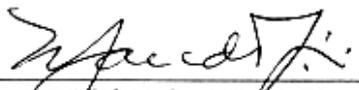
Aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **JOSÉ AUGUSTO DE LOLO**  
(UNESP/Campus de Ilha Solteira)

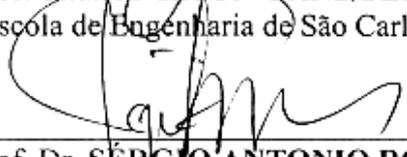
Aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. **PAULINA SETTI RIEDEL**  
(UNESP/Campus de Rio Claro)

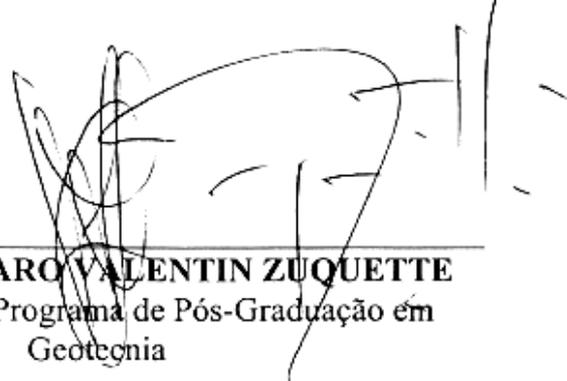
aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **NILSON GANDOLFI**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **SÉRGIO ANTONIO RÖHM**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. **LAZARO VALENTIN ZUQUETTE**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Geotecnia

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Dedico este trabalho aos meus pais Flávio (in memoriam) e Clélia,  
meus exemplos de amor e dedicação.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

A minha família, por compreender a ausência, pelo apoio nos momentos difíceis e pela alegria a cada reencontro.

Ao Prof. Osni José Pejon, pela oportunidade concedida e pela paciência em orientar este trabalho e contribuir com meu crescimento profissional.

À CAPES e à FAPESP que financiaram esta pesquisa.

À Escola de Engenharia de São Carlos, pela infra-estrutura colocada à disposição.

Aos professores do Departamento de Geotecnia que contribuíram para a realização deste trabalho. Ao Prof. Lázaro Zuquette e José Eduardo Rodrigues, que, com seus questionamentos e comentários, tornaram meus objetivos claros.

Aos funcionários do Departamento de Geotecnia, Maristela, Álvaro, Neiva, Toninho, Herivelto, Seu Antônio, Décio, Zé Luís, Oscar, Silvio, Dito e Ester.

Ao Departamento de Transportes, especialmente ao Prof. Ricardo Ernesto Schaal, pelo empréstimo de equipamentos e pelo esclarecimento das dúvidas. Também ao funcionário Paulo Batista, pela contribuição no trabalho com GPS.

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento, Prof. Frederico Fábio Mauad, pelo empréstimo de equipamentos.

Ao amigo e colega Anderson Manzoli, pela disponibilidade, ajuda nas etapas de campo e esclarecimentos de dúvidas sobre GPS.

Aos colegas e amigos da Geotecnia que ajudaram em diversos momentos de dúvida e colaboraram com palavras e atitudes de incentivo, Rogério, Gracinete, Sandrinha, Paulo Maurício, Holdem, Leonardo, Jocy, Regiane, Marcos Musso, Silvana, Adriana, Eliana, Miguel, Maurício, Domingos, Vitor Hugo e Jeselay.

Às amigas Ana Furlan, Adriana Goulart, Josiane Palma e Cláudia Pezzuto que sempre deram apoio e carinho nas longas conversas.

Aos amigos Bel e Manuel, pela amizade, exemplo e aconchego de vida em família.

Ao Rômulo, meu companheiro nesta caminhada, que sempre incentiva e acredita no meu crescimento profissional e pessoal.

## SUMÁRIO

### VOLUME 1

Lista de Figuras .....	i
Lista de Tabelas .....	ix
Lista de Siglas .....	x
Lista de Símbolos .....	xi
Resumo .....	xii
Abstract .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivos gerais .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Aspectos Referentes à Legislação Ambiental .....	5
2.2. Leis Nacionais .....	6
2.2.1. Leis Estaduais .....	9
2.3. Desenvolvimento Sustentável .....	10
2.4. Impactos da Urbanização no Meio Ambiente .....	12
2.5. Degradação Ambiental .....	17
2.5.1. Degradação do solo .....	21
2.5.1.1. Tipos de degradação do solo .....	29
2.5.1.1.1. Erosão .....	29
2.5.1.1.2. Disposição inadequada de resíduos sólidos no solo .....	36
2.5.1.1.3. Mineração .....	41
2.6. Atividades de Recuperação de Áreas Degradadas .....	45
2.7. Mapeamento Geotécnico e Planejamento Urbano .....	49
2.8. Geoprocessamento e Estudos Ambientais .....	58
2.8.1. Sistema de informações geográficas .....	59
2.8.2. Sensoriamento remoto .....	62
2.8.2.1. Fotografias aéreas e ortofotos .....	64
2.8.2.2. Imagens de satélite .....	68

2.8.2.2.1. Ortorretificação de imagens de satélite .....	69
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
3.1. Materiais .....	71
3.2. Métodos .....	72
<b>4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>75</b>
4.1. Características Gerais .....	75
<b>5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS PRODUZIDOS .....</b>	<b>79</b>
5.1. Mapa Topográfico 1:10.000 .....	79
5.2. Mapa de Documentação .....	79
5.3. Mapa de Substrato Geológico .....	80
5.4. Mapa de Materiais Inconsolidados .....	83
5.4.1. Materiais Residuais da Formação Serra Geral .....	84
5.4.2. Materiais Residuais da Formação Botucatu .....	85
5.4.3. Materiais Residuais da Formação Itaquerí .....	85
5.4.4. Materiais Transportados Arenosos .....	86
5.4.5. Materiais Transportados Aluvionares .....	87
5.4.6. Materiais Transportados Coluvionares .....	87
5.4.7. Caracterização dos materiais inconsolidados quanto à infiltração .....	87
5.5. Mapa de Landforms .....	95
5.6. Carta de Declividades .....	96
5.7. Mapa de Uso e Ocupação .....	98
<b>6. GERAÇÃO DE ORTOFOTOS E TRATAMENTO DA IMAGEM IKONOS .....</b>	<b>101</b>
6.1. Geração das Ortofotos .....	101
6.1.1. Obtenção de coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos de apoio .....	102
6.1.2. Modelo digital do terreno (MDT) .....	103
6.1.3. Processo de obtenção da ortofoto .....	104
6.1.4. Mosaico das fotografias aéreas ortorretificadas .....	110
6.1.5. Fontes de erros resultantes no processo de ortorretificação das fotografias aéreas .....	112
6.2. Uso da Imagem Ikonos no Estudo de Degradação Ambiental .....	116
6.2.1. Processo de ortorretificação da imagem Ikonos .....	117
<b>7. ANÁLISE DAS DEGRADAÇÕES AMBIENTAIS NA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>123</b>

7.1. Análise da Evolução das Degradações do Meio Físico .....	123
7.2. Áreas Degradadas Atuais na Área de Estudo .....	128
7.3. Inventário das Áreas Degradadas por Micro-bacia .....	131
7.4. Sistema de Informações Geográficas .....	166
7.4.1. Tratamento das informações .....	166
7.4.2. Sistemas de banco de dados associados às informações pontuais .....	167
7.4.3. Sistemas de banco de dados associados aos documentos cartográficos elaborados .....	169
7.4.4. Exemplos de consultas que podem ser realizadas utilizando o banco de dados e os documentos cartográficos elaborados .....	169
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>181</b>
8.1. Considerações Finais .....	181
8.1.1. Contribuições do geoprocessamento para o estudo das degradações ambientais .....	181
8.1.1.1. Comparação entre o uso da imagem Ikonos ortorretificada e das ortofotos no estudo de áreas degradadas .....	187
8.1.2. Análise das degradações ambientais .....	188
8.1.2.1. Análise das degradações ambientais por micro-bacia .....	190
8.2. Conclusões .....	193
8.2.1. Quanto à metodologia de trabalho .....	193
8.2.2. Quanto às degradações ambientais .....	194
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>195</b>

## **VOLUME 2**

### **ANEXOS**

**ANEXO 1 – MAPA TOPOGRÁFICO**

**ANEXO 2 – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO**

**ANEXO 3 – MAPA DE SUBSTRATO GEOLÓGICO**

**ANEXO 4 – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

**ANEXO 5 – CARTA DE DECLIVIDADES**

**ANEXO 6 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO  
(DUPLA ANEL) “in situ”**

**ANEXO 7 – CARTA LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS  
ATUAIS NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP**

**ANEXO 8 – PLANILHAS DE INVENTÁRIO DAS DEGRADAÇÕES**

**ANEXO 9 – MOSAICO ORTORRETIFICADO DA CIDADE DE  
SÃO CARLOS- SP**

**ANEXO 10 – MOSAICO DA IMAGEM IKONOS (PSM, 1m) DA  
CIDADE DE SÃO CARLOS – SP**

**ANEXO 11 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Tipos de erosão segundo Lal (1990, modificado por ALCÂNTARA, 1997) .....	30
Figura 2.2- Morfologia de sulcos e boçorocas (KARMANN, 2000).....	33
Figura 2.3- Percentual de distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo por unidades de destinação final de lixo coletado, segundo as Grandes regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais (Brasil). Fonte: IBGE (2000), modificado .....	38
Figura 2.4- Fotografia aérea de um aterro sanitário em São Paulo.Fonte: Zeitouni (2001) .....	40
Figura 2.5- Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara (1995) .....	60
Figura 2.6- Imagem Ikonos, modo PSM 1m de resolução .....	70
Figura 3.1- Fluxograma das etapas de trabalho executadas nesta pesquisa ...	74
Figura 4.1- Localização da área de estudo .....	75
Figura 5.1- Área de exposição das rochas basálticas da Formação Serra Geral, na região sudoeste do núcleo urbano .....	81
Figura 5.2- Talude à sudeste do núcleo urbano, onde tem-se a exposição dos arenitos homogêneos da Formação Botucatu .....	82
Figura 5.3- Região de afloramento da Formação Botucatu, à oeste do núcleo urbano .....	82
Figura 5.4- Solos residuais da Formação Itaqueri, onde tem-se linha de seixos .....	83
Figura 5.5: Esquema de montagem e execução do ensaio de infiltração pelo método do Anel Duplo .....	88
Figura 5.6: Localização dos pontos escolhidos dentro da área de estudo para o ensaio de infiltração .....	88
Figura 5.7: Modelo da ficha de campo utilizada para o ensaio de infiltração	89
Figura 5.8: Posicionamento das diferentes atividades durante o ensaio de infiltração .....	90
Figura 5.9: Perfil de umidade do solo natural e saturado .....	91
Figura 5.10: Curva de Infiltração .....	93
Figura 5.11: Localização do ponto i1 - ensaio de infiltração. Nascente do Córrego Gregório com mata ciliar preservada. Ocupação rural ..	93
Figura 5.12: Mapa de Landforms adotado de Muro (2000) para a área de estudo .....	96

Figura 6.1: Coleta das coordenadas do ponto de controle utilizando GPS Leica SR9400 e Visor C333 .....	103
Figura 6.2: MDT da área de estudo (área urbana e de expansão) na cidade de São Carlos (SP) gerado no software <i>Envi4.1</i> .....	104
Figura 6.3: Tela de apresentação da fotografia aérea a ser ortorretificada ..	105
Figura 6.4: Tela de inserção das coordenadas das marcas fiduciais – etapa de orientação interna da foto .....	106
Figura 6.5: Tela de associação dos pontos de apoio à imagem – etapa de orientação externa da foto .....	107
Figura 6.6: Tela com as informações dos pontos de controle (número de identificação, localização fiducial correspondente, localização do pixel e erro (RMS)) .....	109
Figura 6.7: Fotografias aéreas antes e depois da ortorretificação. (a) Fotografia aérea original. (b) Fotografia aérea ortorretificada ....	110
Figura 6.8: Mosaico das fotografias aéreas ortorretificadas com sobreposição dos vetores das degradações, drenagens (azul), perímetro urbano (magenta) e limite da área de estudo (vermelho) .....	111
Figura 6.9: Sobreposição do mosaico ortorretificado e dos vetores da drenagem ao MDT .....	113
Figura 6.10: Sobreposição dos vetores do traçado urbano na imagem do mosaico ortorretificado e medição dos erros resultantes. Observa-se que na região oeste da cidade, onde as declividades são maiores, os erros também são maiores .....	114
Figura 6.11: Mosaico das ortofotos, com sobreposição do vetor da drenagem e da degradação ambiental por retirada de mata ciliar. Foi possível medir a extensão da margem do córrego Tijuco Preto onde foi retirada a mata ciliar .....	115
Figura 6.12: Mosaico das ortofotos, com sobreposição do polígono traçado da mineração abandonada. Foi possível medir a área aproximada ocupada pela degradação ambiental .....	116
Figura 6.13 - Parâmetros da ortorretificação .....	118
Figura 6.14: Imagem Ikonos (PSM,1m) ortorretificada, de junho/2004 da cidade de São Carlos - SP. Sobreposição dos vetores das degradações observadas na cidade, do perímetro urbano (na cor magenta) e da área de estudo (na cor vermelha) .....	119
Figura 6.15: Sobreposição da imagem Ikonos e dos vetores da drenagem ao MDT .....	120

Figura 6.16: Imagem Ikonos, com sobreposição do polígono traçado da mineração abandonada. Medição da área aproximada atingida pela degradação ambiental e observação das condições da cobertura vegetal .....	121
Figura 6.17: Região oeste da cidade de São Carlos, observada na imagem Ikonos ortorretificada, onde são destacados os maiores problemas de degradação ambiental, como erosões, assoreamento e retirada de mata ciliar, além da proximidade de residências .....	122
Figura 7.1: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1962) .....	124
Figura 7.2: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1978) .....	125
Figura 7.3: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1998) .....	126
Figura 7.4: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (2000) .....	127
Figura 7.5: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (2004) .....	128
Figura 7.6: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por mineração .....	130
Figura 7.7: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por desmatamento .....	130
Figura 7.8: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por erosão .....	131
Figura 7.9: Mapa das micro-bacias da cidade de São Carlos SP. Fonte: SMH DU (2005), modificado .....	132
Figura 7.10: Bacia do córrego Água Quente. Ocupação inadequada causou retirada da mata ciliar, erosões e assoreamentos .....	133
Figura 7.11: Boçoroca ocasionada pela intensidade das águas pluviais no bairro Cidade Aracy, onde houve desmatamento inadequado ....	133
Figura 7.12: Dissipador de energia construído no córrego Água Quente a fim de estabilizar o processo erosivo instalado no local .....	134
Figura 7.13: Boçoroca no bairro Cidade Aracy que foi estabilizada com obras .....	135
Figura 7.14: Processo erosivo ativo próximo do Córrego Água Quente, devido a ação das águas pluviais .....	136
Figura 7.15: Rede de drenagem de esgoto doméstico rompida, provocando a contaminação do solo e a instabilização do processo de controle da erosão .....	136

Figura 7.16: Boçoroca localizada atrás do cemitério no bairro Cidade Aracy causada pelo escoamento superficial das águas pluviais em local com alta declividade e material Coluvionar do Botucatu .....	137
Figura 7.17: Boçoroca localizada no bairro Cidade Aracy, atrás do cemitério, atingindo o lençol freático .....	138
Figura 7.18: Boçoroca estabilizada no bairro Cidade Aracy .....	138
Figura 7.19: Boçoroca controlada com obras viárias e de drenagem no bairro Cidade Aracy. Observa-se a recuperação parcial da vegetação .....	139
Figura 7.20: Pedreira abandonada no bairro Mirante da Bela Vista. O material explorado era o Residual dos Magmatitos Básicos .....	139
Figura 7.21: Área da pedreira abandonada onde se observa a existência de poço de 8m de profundidade, com acúmulo de água de chuva e talude de corte maior que 5m de altura .....	140
Figura 7.22: Ocupações vizinhas da pedreira abandonada, distantes apenas 100m do talude de corte .....	140
Figura 7.23: Tentativa de recuperação da área degradada pela mineração: deposição de entulho .....	141
Figura 7.24: Obra de controle da erosão destruída pela força das águas pluviais .....	141
Figura 7.25: Local de assoreamento do córrego Água Quente no bairro Cidade Aracy .....	142
Figura 7.26: Assoreamento e erosão na margem do córrego Água Quente, no bairro Cidade Aracy .....	142
Figura 7.27: Assoreamento e erosão na margem do córrego Água Quente, no bairro Cidade Aracy .....	143
Figura 7.28 – Local próximo ao Bairro Cidade Aracy, com deposição de lixo e entulho .....	143
Figura 7.29: Micro-bacia do córrego Água Fria. Degradações ocasionadas pela ação antrópica .....	144
Figura 7.30: Margem do córrego Água Fria, onde existe erosão causada pela retirada da mata ciliar .....	145
Figura 7.31: Córrego Água Fria, próximo do matadouro da cidade .....	145
Figura 7.32: Margem do córrego Água Fria onde houve retirada da mata ciliar .....	145
Figura 7.33: Vazamento da fossa séptica nos fundos de uma casa no bairro Cidade Aracy, onde a topografia carrega o fluxo na direção do córrego Água Fria .....	146

Figura 7.34: Vista do bairro Cidade Aracy da mineradora de extração de areia .....	146
Figura 7.35: Extração de areia localizada à oeste da área urbana, na estrada de Ribeirão Bonito .....	147
Figura 7.36: Área de depósito do rejeito da extração de areia. Barragem com aproximadamente 4 metros de profundidade .....	148
Figura 7.37: Micro-bacia do córrego Mineirinho, totalmente urbanizada, com problemas de retirada da mata ciliar da nascente e ao longo da drenagem .....	148
Figura 7.38: Córrego Mineirinho. Mata ciliar retirada, restando faixa de proteção de somente 2 metros .....	149
Figura 7.39: Margens do córrego Mineirinho, onde o entorno é ocupado por shopping center e loteamentos de alto padrão .....	149
Figura 7.40: Micro-bacia do Córrego Santa Maria Madalena. Maior ocupação rural .....	150
Figura 7.41: Foz do córrego Santa Maria Madalena (Córrego Monjolinho). Ausência da mata ciliar e alta taxa de impermeabilização no entorno .....	151
Figura 7.42: Córrego Santa Maria Madalena. (a) rua à margem esquerda da drenagem, inundada pela chuva intensa. (b) nível do curso d'água elevado 2 metros a mais que o normal .....	151
Figura 7.43: Micro-bacia do Córrego Gregório. Retirada da mata ciliar das margens de todo o curso d'água e problemas de inundações na região central da cidade .....	152
Figura 7.44: Nascente do córrego Gregório em estado de boa conservação .	152
Figura 7.45: Córrego Gregório. Retirada da mata ciliar para dar lugar às vias de tráfego que provocou o aumento da taxa de impermeabilização .....	153
Figura 7.46: Cabeceira do córrego Gregório onde a mata ciliar foi retirada e atualmente é depositado entulho .....	153
Figura 7.47: Canal do córrego Gregório retificado e revestido com concreto	154
Figura 7.48: Foz do córrego Gregório sem mata ciliar ou faixa de proteção. Em época de chuvas intensas, águas pluviais são lançadas de altas declividades, aumentando a velocidade do fluxo do canal, provocando inundações .....	154
Figura 7.49: Canal do córrego Gregório com ausência de mata ciliar e presença do material residual dos magmatitos básicos .....	155
Figura 7.50: Micro-bacia do córrego Tijuco Preto totalmente urbanizada e degradada pela retirada da mata ciliar .....	155

Figura 7.51: Obra de canalização do córrego Tijuco Preto. Proximidade de residências e ausência de mata ciliar .....	156
Figura 7.52: Área sendo preparada para construção da via de tráfego (marginal do córrego Tijuco Preto) .....	156
Figura 7.53: Ponte no córrego Tijuco Preto rompida pela força das águas pluviais na rede de drenagem mal dimensionada .....	157
Figura 7.54: Local onde as obras de drenagem foram rompidas pelas águas pluviais e abandonada pela administração pública. (a) Foto obtida em abril de 2002. (b) Foto obtida em novembro de 2005. ....	157
Figura 7.55: Margens do córrego Tijuco Preto degradadas: deposição de lixo e sedimentos, e ausência de mata ciliar .....	158
Figura 7.56: Margens do córrego Tijuco Preto: deposição de lixo e entulho. Proximidade das residências que ficam em risco em época de chuvas intensas .....	158
Figura 7.57: Foz do córrego Tijuco Preto (rio Monjolinho): ausência de mata ciliar e assoreamento .....	158
Figura 7.58: Bacia do Rio Monjolinho. Área de nascente ocupada por loteamentos .....	159
Figura 7.59: Área degradada por ação antrópica, próxima à nascente do Rio Monjolinho, no bairro Douradinho .....	160
Figura 7.60: Cabeceira do rio Monjolinho onde ocorreu formação de processo erosivo .....	160
Figura 7.61: Erosão formada na nascente do rio Monjolinho, apesar da existência de obra de drenagem .....	161
Figura 7.62: Local na nascente do rio Monjolinho, onde existe erosão com alto risco para a população do entorno .....	161
Figura 7.63: Profundidade da erosão atingiu o lençol freático que está sendo poluído com lixo e entulho .....	162
Figura 7.64: Pedreira abandonada próximo ao bairro Botafogo .....	162
Figura 7.65: Solo exposto ao intemperismo pela ausência de vegetação. Altas declividades no local .....	163
Figura 7.66: Vegetação pouco recuperada e existência de alta declividade no local .....	163
Figura 7.67: Sulcos de erosão provocados pela alta declividade, ausência de vegetação e fluxo de águas pluviais com alta velocidade .....	164
Figura 7.68: Micro-bacia do córrego do Monjolinho localizada à sudeste do núcleo urbano de São Carlos, onde foram encontradas degradações como retirada de mata ciliar e minerações .....	164
Figura 7.69: Pedreira em atividade; exploração do Arenito Botucatu .....	165

Figura 7.70: Pedreira em atividade; exploração do Arenito Botucatu .....	165
Figura 7.71: Margem da estrada Washington Luís, córrego monjolinho. Retirada da mata ciliar e riscos de contaminação das águas superficiais .....	166
Figura 7.72: Consulta ao Banco de dados do Spring 4.2 através do Painel de controle, onde foi selecionado e desenhado o PI do Mapa de Materiais Inconsolidados .....	170
Figura 7.73: Consulta ao banco de dados do Spring 4.2 através da ferramenta cursor de info, a qual gera o relatório de dados de cada ponto clicado .....	171
Figura 7.74: Consulta à tabela com os pontos produzidos em Aguiar (1989), do Banco de dados do Spring 4.2 através da função consultar do painel de controle. Ao selecionar um ponto na tabela é possível localizá-lo na tela pela cor destacada .....	172
Figura 7.75: Consulta ao Banco de dados do Spring 4.2 através da função consulta a objetos, visualização dos atributos e inserção de foto através de módulo que permite associação de dados de multimídia .....	173
Figura 7.76: Consulta ao Banco de dados do Spring 4.2 através da função geração de coleção, onde foi criada a coleção “FluxoSubt” correspondente às áreas degradadas por erosões cuja profundidade atingiu as águas subterrâneas .....	174
Figura 7.77: Geração da tabela contendo a coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d’água (FLX_AGUA) subterrâneo agrupado ....	174
Figura 7.78: Criação do PI a partir da tabela de coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d’água subterrâneo .....	175
Figura 7.79: PI da categoria cadastral, gerado a partir da tabela de coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d’água subterrâneo .....	175
Figura 7.80: Janela de seleção dos PI que serão cruzados para a geração de um novo PI .....	176
Figura 7.81: Mapa de distância gerado no Spring 4.2, as quais representam as faixas de proteção ao longo de cursos d’água ....	177
Figura 7.82: Imagem Ikonos sobreposta pelo buffer igual a 30 metros do mapa de distâncias ao longo do córrego Gregório. A ocupação urbana invadiu a faixa de proteção do curso d’água, aumentando a impermeabilização e, com isso, o risco de inundações .....	178
Figura 7.83: Cabeceira do rio Monjolinho, onde a visualização da imagem Ikonos e do mapa de distância permitem verificar que a ocupação urbana invadiu a faixa de proteção do curso d’água e ocasionou a degradação do meio físico .....	179

Figura 8.1: Imagem Ikonos sobreposta com o vetor de degradação por erosão (local: Bairro Cidade Aracy), onde foi possível obter dimensões da área, como por exemplo, o comprimento da erosão .....	182
Figura 8.2: Imagem Ikonos sobreposta pelos vetores de drenagem e da degradação por erosão. A resolução da imagem permite observar a erosão marginal que se formou devido a ausência da vegetação ciliar e ao escoamento concentrado no curso d'água .	183
Figura 8.3: Imagem Ikonos sobreposta pelos vetores de drenagem e da degradação por erosão. A resolução da imagem permite observar que neste caso os sulcos de erosão convergiram para um ponto específico, levando ao surgimento de boçorocas .....	183
Figura 8.4: Mosaico ortorretificado do ano de 1998 da área da cabeceira do Rio Monjolinho, onde observa-se a preservação parcial da vegetação nativa .....	184
Figura 8.5: Imagem Ikonos ortorretificada do ano de 2004 da área de cabeceira do Rio Monjolinho, onde observa-se o desmatamento ocorrido para a instalação de loteamento .....	185
Figura 8.6: Análise do meio físico existente no local onde ocorreu processo erosivo, utilizando o <i>Spring 4.2</i> . Os planos de informação ativos na tela referem-se à declividade, materiais inconsolidados, substrato geológico e degradação .....	186
Figura 8.7: Tela do <i>Spring 4.2</i> , cuja consulta gerou as informações comuns a todas as áreas degradadas por erosão: alta declividade, presença da Formação Botucatu, áreas de nascentes .....	187
Figura 8.8: Percentagens de ocupação urbana nas micro-bacias da Bacia do Rio Monjolinho .....	190

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Atividades de impacto ambiental e tipos de degradações (Desenvolvimento Sustentável: Relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (1991), modificado e, SEBRAE apud PRESERVAÇÃO, 2003) .....	18
Tabela 2.2- Estimativas da extensão global (em milhão de km <sup>2</sup> ) de áreas degradadas (Oldeman,1994 <i>apud</i> ESWARAN et al., 2003) .....	20
Tabela 2.3- Degradação da terra nas plantações na Austrália (ESWARAN et al., 2003) .....	21
Tabela 2.4- Degradação do solo por alteração antrópica no mundo (GLASOD). (MERMUT e ESWARAN, 2001) .....	24
Tabela 2.5- Fatores condicionantes do processo erosivo (FENDRICH et al., 1997) .....	31
Tabela 2.6- Problemas gerados devido à disposição inadequada de resíduos. (Cunha e Consoni <i>apud</i> COLLARES, 2002) .....	39
Tabela 2.7- Valores recomendados pelo MEET NATIONAL MAP ACCURACY STANDARDS para o tamanho do pixel da imagem em relação à escala do produto final .....	68
Tabela 5.1- Cartas topográficas referentes à área de estudo .....	79
Tabela 5.2- Pontos que constituem o Mapa de Documentação .....	80
Tabela 5.3- Características físicas das unidades encontradas na área de estudo .....	84
Tabela 5.4- Valores da umidade do solo natural e saturado .....	90
Tabela 5.5- Valores das leituras do ensaio de infiltração e de condutividade hidráulica .....	92
Tabela 5.6- Resultados dos ensaios de infiltração realizados na área de estudo .....	94
Tabela 5.7- Comparação entre vantagens e desvantagens na construção da carta de declividades por meios convencionais e computacionais. Fonte: Amorin, 2003.....	97
Tabela 5.8- Distribuição das classes para o Mapa de Uso e Ocupação .....	100
Tabela 6.1- Etapas do processo de geração de ortofotos .....	102
Tabela 7.1- Áreas degradadas identificadas na cidade de São Carlos .....	129

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANA – Agência Nacional de Água  
ASTM - American Society for Testing and Materials  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CTC – Capacidade de Troca Catiônica  
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica  
DPRN – Divisão de Proteção de Recursos Naturais  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ENVI – Environment for Visualizing Images  
FAO - Food Agriculture Organization  
GCP – Ground Control Points  
GLASOD – Global Assessment Soil Degradation  
GPS – Sistema de Posicionamento Global  
IAD – Infiltrômetro de Anel Duplo  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
MDT – Modelo Digital de Terreno  
PI – Plano de Informação  
PSM – Pancromática e Multiespectral  
RMS – Erro Médio Quadrático  
RPC – Rational Polynomial Coefficients  
SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto  
SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SISNAMA – Sistema Nacional do meio Ambiente  
SPT – Sondagem de Simples Reconhecimento  
UNEP - United Nations Environment Programme  
UTM – Universal Transverse Mercator

**LISTA DE SÍMBOLOS**

- $\rho$  – Massa específica do solo  
 $\rho_d$  - Massa específica seca do solo  
 $\rho_s$  – Massa específica dos sólidos  
 $e$  – Índice de vazios  
 $w$  – Umidade natural  
 $k_{fs}$  – Condutividade hidráulica

## RESUMO

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos – SP, com o auxílio de geoprocessamento.** 2006. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Este trabalho apresenta uma proposta metodológica para levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas e em processo de degradação em ambientes urbanos, utilizando-se como ferramenta o geoprocessamento. A área de estudo é a cidade de São Carlos - SP (área urbana e de expansão). Os dados apresentados foram obtidos de trabalhos realizados anteriormente e com o uso de geoprocessamento, técnicas de fotointerpretação e mapeamento geotécnico. As informações do meio físico já existentes e as informações produzidas foram integradas e representadas no Sistema de Informações Geográficas (*Spring 4.2*), associado ao banco de dados. A fim de servir como base para o referenciamento das informações, foram elaboradas ortofotos digitais no software *Envi 4.1*. Também foi realizada ortorretificação na imagem Ikonos (PSM, 1m), e comparada a aplicação deste e das ortofotos no estudo da degradação ambiental em ambiente urbano. Através da fotointerpretação em fotografias aéreas de diferentes datas e utilizando a imagem Ikonos (PSM, 1m), foi feita uma análise da evolução dos processos de degradação. O estudo permitiu identificar que a maioria das degradações encontradas na cidade foram causadas pela ocupação inadequada que não considerou as condições ambientais existentes, resultando em danos ao meio físico e, conseqüentemente, à qualidade de vida da população urbana.

Palavras-chave: áreas degradadas, geológico-geotécnico, geoprocessamento, sensoriamento remoto, ambiente urbano.

## ABSTRACT

PONS, N. A. D. **Engineering geological studies of land degradation in São Carlos city – state of São Paulo, Brazil, with aid of geoprocessing.** 2006. Thesis (Doctoral) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

This work presents a methodology of engineering geological survey of land degradation in urban environments using geoprocessing tools. The studied area is São Carlos city, state of São Paulo (urban and expansion area). The data presented were obtained of early studies made, and through the use of geographical information system, photointerpretation, and engineering geological mapping. Both existing and produced environmental information were integrated and represented in the geographical information system (Spring 4.2), and associated to the data base. The software Envi 4.1 was used to elaborate the digital orthophotos to aid as a reference base of the information. Orthorectification of the Ikonos image (PSM, 1m) were made and compared with the orthophotos in the environment degradation studies in urban areas. An analysis of the land degradation processes evolution was made through the photointerpretation in aerial photographs of different dates and with the Ikonos image. This study allowed to identify that the majority of the degradations found in the city were caused by the inadequate occupation that did not consider environment conditions, resulting in damages to the environment and, therefore, to the quality of life of the urban population.

Key-words: land degradation, geographical information system, orthophoto, engineering geological mapping, remote sensing, geoprocessing.

## 1. INTRODUÇÃO

---

O problema da degradação ambiental é bem antigo, confundindo-se no tempo e no espaço com a evolução e a capacidade modificadora do Homem.

A intensificação do processo de urbanização teve grande participação, devido ao aumento e diversificação das solicitações ao meio físico. As cidades necessitavam de itens essenciais de consumo como energia, água, produtos agrícolas, e também de insumos básicos para a construção, como areia, argila, brita e madeira, todos retirados do meio ambiente (CARVALHO e PRANDINI, 1998).

O desconhecimento das características geológico-geotécnicas do meio físico e, com isso, a falta de planejamento para as ocupações urbanas fez surgir problemas geotécnicos e socioeconômico-ambientais, como erosão, assoreamento, inundações, recalques, risco e outros.

Há décadas, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos pelo mundo a respeito da degradação ambiental, e como principais causas da degradação do solo têm-se os elementos naturais do meio físico, as atividades humanas que podem contribuir com os riscos naturais e as pressões populacionais.

No Brasil, vários estudos destacaram a preocupação com a degradação ambiental em termos geológico-geotécnicos. Na maioria dos estudos realizados sobre os problemas geológico-geotécnicos decorrentes da expansão urbana desordenada, a conclusão foi a de que a ocupação de áreas impróprias resultou em impactos que afetaram tanto a paisagem urbana quanto a qualidade de vida da população; a má utilização do meio físico dificultou a implementação dos equipamentos urbanos, ocasionando a degradação ambiental e o surgimento de situações de risco geológico (inundações e escorregamentos); os processos geológicos foram acelerados pela ação antrópica, como a execução de cortes inadequados, impermeabilização do terreno, obras de drenagem insuficientes ou mal projetadas, além da remoção da cobertura vegetal; o avanço destas formas de uso e ocupação em áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos gravitacionais de massa acelera e amplia os processos de instabilização, ocasionando maiores problemas no futuro.

No estudo da degradação ambiental é necessário conhecer as relações entre os elementos que constituem o meio natural, entender os processos, fenômenos e comportamentos do meio físico relacionados com as diferentes formas de interferência das ações humanas.

Na cidade de São Carlos, onde foi realizado o estudo em questão, a urbanização ocorreu de forma bastante rápida e irregular, como na maioria das cidades de porte médio no Brasil, gerando o agravamento dos problemas ambientais.

Entre as degradações ambientais observadas por Gonçalves (1986), Aguiar (1989), e Gaspar (2000) na cidade de São Carlos-SP, estão o lançamento de esgoto doméstico diretamente em córregos e riachos da cidade, a deposição do lixo em local inadequado, pedreiras de brita e arenito em estado de semi-abandono, exploradas eventualmente por métodos rústicos, processos erosivos instalados em determinados locais da cidade devido aos desmatamentos para a implantação de loteamentos ou por características inerentes ao meio físico (declividade, tipo de material, vegetação, etc.).

Diante de tais fatos, o estudo visou conhecer a situação atual do meio físico da cidade de São Carlos – SP e, com isso, fornecer subsídios ao planejamento urbano.

As técnicas de fotointerpretação, ortofotos e mapeamento geotécnico foram utilizadas com a finalidade de testar sua aplicação e trazer contribuições ao estudo das áreas degradadas. O geoprocessamento foi utilizado a fim de agilizar as sobreposições das informações e as análises, e proporcionar a integração e melhor aproveitamento das informações geológico-geotécnicas pré-existentes.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos gerais**

Este trabalho buscou desenvolver um procedimento para o levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas e em processo de degradação, a ser aplicada na cidade de São Carlos-SP (área urbana e de expansão), utilizando como ferramenta o geoprocessamento.

Para isso, pretende-se integrar as informações do meio físico já existentes e as informações produzidas, e representá-las em um Sistema de Informações Geográficas (Spring 4.2), associado a um banco de dados.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Pretende-se testar a eficiência de métodos simples de obtenção de ortofotos digitais e verificar a sua aplicação na avaliação e caracterização das áreas degradadas.

Também visa-se avaliar o uso de imagens de satélite de alta resolução (Ikonos - 1m, Orto Kit) no estudo das degradações ambientais.

O trabalho também busca analisar comparativamente os produtos resultantes das duas técnicas de ortorretificação (ortofotos e imagens de satélite) quanto à precisão, custos, facilidade de obtenção e resultados no estudo das degradações.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

O inter-relacionamento existente entre o processo de urbanização e o meio ambiente mostra como as características ambientais influem ou são alteradas pelo mesmo.

As características estruturais do solo são alteradas, na maioria das vezes, quando ocorre a efetiva ocupação, podendo apresentar problemas que irão se manifestar, principalmente, como socioeconômico-ambientais. Tais problemas referem-se à erosão, assoreamento, inundações, recalques, risco e outros. Na realidade, estas manifestações refletem os problemas causados pela ocupação inadequada do meio físico.

Segundo Bitar e Braga (1995), “os processos tecnológicos dos diferentes tipos de intervenções (obras civis, mineração, urbanização, atividades agrícolas, etc.), produzem alterações no meio físico, cuja conseqüência pode ser a geração de áreas degradadas”.

A urbanização acelerada é fenômeno mundial, e tem como conseqüência a ocupação desordenada do espaço urbano, bem como os impactos ambientais progressivos devido à falta de preocupação com a capacidade de suporte do meio físico.

O desenvolvimento urbano deve ter seu disciplinamento equilibrado, principalmente com base na avaliação dos resultados da aplicação da legislação e com vistas às transformações impostas pelas evoluções tecnológicas. A melhoria das cidades pode ser obtida através de metas objetivas, tais como: qualificar as áreas comprometidas, manter os espaços bem estruturados, reorganizar as funções e atividades, criar lugares com melhores condições de vida para a população.

Em muitos casos, em função da legislação ambiental, pressão da sociedade ou mesmo por necessidade premente de reutilização de uma área, busca-se a adoção de medidas corretivas, destinadas a reverter a degradação. Tais medidas exigem custos elevados, ao contrário das ações preventivas, que visam a minimização de possíveis danos, decorrentes da ocupação de determinada área, e exigem custos bem menores.

Além disso, verifica-se a falta de investimento, por parte dos órgãos administrativos, em pessoal especializado, capaz de compreender a dinâmica do meio

físico na cidade e suas implicações para com o uso do solo, assim como a ausência de geólogos e profissionais correlatos nos quadros funcionais das prefeituras.

A cidade vive intenso processo de expansão e, com isso, um aumento considerável de ocupações (muitas vezes desordenada) e de atividades agressoras ao meio físico (minerações, etc.), as quais podem vir a gerar ou acelerar os processos de degradação.

O Poder Público necessita tanto do conhecimento técnico sobre o meio ambiente e processos de degradação quanto de uma legislação adequada que lhe dê suporte para subsidiar as ações de planejamento municipal e de prevenção de problemas relacionados com o uso e ocupação do meio físico. Os estudos que identifiquem e caracterizem os problemas de degradação ambiental são também uma ferramenta valiosa para o setor privado com investimentos ligados a diversas formas de uso do solo, dentro do desafio de dar continuidade ao desenvolvimento e contribuir minimizando a degradação ambiental e otimizando custos.

## **2.1. Aspectos Referentes à Legislação Ambiental**

A Legislação Ambiental está amparada pela Constituição Federal do Brasil de 1988, Constituição do Estado de São Paulo, Leis, Decretos, Resoluções, Portarias que se complementam. A seguir, descrevem-se alguns trechos da Legislação Brasileira vigente, mais especificamente quanto à questão do Meio Ambiente (degradação ambiental; preservação do solo, água, flora; e recuperação de áreas degradadas).

A Constituição Federal do Brasil em seu artigo 225 diz que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Em seu inciso IV exige, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental.

Segundo Amorim (1997), a Legislação Ambiental vigente no Brasil é vasta, porém, verificam-se inúmeros problemas quanto à aplicabilidade dessas Leis. No que diz respeito aos atos lesivos ao Meio Ambiente, o autor observa que a melhoria da fiscalização poderá resultar na diminuição das agressões ao meio e o melhor e mais eficiente controle das áreas degradadas.

Conforme a Lei Federal Nº 6.938 de 31.08.81 – Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Art.3º, Meio Ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

Para ABNT (1989), Meio Ambiente é “determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (solo), e em decorrência da ação humana, caracteriza-se também o componente cultural”.

O Meio ambiente pode ser entendido como o conjunto de condições naturais que atuam sobre os organismos vivos e os seres humanos (GONÇALVES, 1998).

Meio Ambiente é tudo o que cerca o ser vivo, que o influencia e que é indispensável à sua sustentação. Estas condições incluem solo, clima, recursos hídricos, ar, nutrientes e os outros organismos. O meio ambiente não é constituído apenas do meio físico e biológico, mas também do meio sócio-cultural e sua relação com os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem (GLOSSÁRIO DE TERMOS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2003).

## **2.2. Leis Nacionais**

As principais leis nacionais que fazem referência à utilização adequada (preservação) dos recursos naturais são:

Lei No 6.938 (31 de agosto de 1981) – estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação; e dá outras providências.

Lei No 9.433 (8 de janeiro de 1997) – estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, altera o artigo 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

### **Política Nacional do Meio Ambiente**

A Política Nacional do Meio Ambiente está fundamentada no artigo 1º da lei 6.938, com fundamento nos incisos VI e VII do art. 23 e no art. 235 da Constituição, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. (Redação dada pela Lei nº 8.028, de 12.04.90)

Esta política tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

- racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

- planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

- proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

- controle e zoneamento das atividades potenciais ou efetivamente poluidoras;

- incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

- acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

- recuperação de áreas degradadas;

- proteção de áreas ameaçadas de degradação;

- educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Os objetivos da política nacional do meio ambiente estão relacionados no artigo 5o que define que as diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente serão formuladas em normas e planos, destinados a orientar a ação dos Governos da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios no que se relaciona com a preservação da qualidade ambiental e manutenção do equilíbrio ecológico.

O Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) foi estabelecido como sendo constituído pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios, bem como as fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental.

Ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) segundo redação dada pela Lei nº 8.028, de 12.04.90) compete:

- I - estabelecer, mediante proposta da SEMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo SEMA; (\*)Nota: Lei nº 7.804, de 18.07.89 - substituiu

Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA por Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

II - determinar, quando julgar necessário, a realização de estudos das alternativas e das possíveis conseqüências ambientais de projetos públicos ou privados, requisitando aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem assim a entidades privadas, as informações indispensáveis para apreciação dos estudos de impacto ambiental, e respectivos relatórios, no caso de obras ou atividades de significativa degradação ambiental, especialmente nas áreas consideradas patrimônio nacional. (Redação dada pela Lei nº 8.028, de 12.04.90)

III - estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos.

Os instrumentos da política nacional do meio ambiente (estabelecidos no artigo 9o) são:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;

VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas; (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 18.07.89)

VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;

VIII - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental;

IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.

O artigo 10 estabelece a necessidade de prévio licenciamento ambiental de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças

exigíveis. (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 18.07.89), para a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

### **Política Nacional de Recursos Hídricos**

A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- a água é um bem de domínio público;
- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- a bacia hidrográfica e a unidade territorial para implementação 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.

Os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos são:

- assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

#### **2.2.1. Leis Estaduais**

Em nível do Estado de São Paulo, merece destaque o Decreto Estadual Nº24.715, de 7 de fevereiro de 1986, que transforma a Divisão de Proteção de Recursos Naturais, da Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, em Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais, o qual dispõe sobre sua organização e dá providências correlatas.

O Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais, órgão responsável pelo controle e orientação geral dos estudos e atividades relacionadas com a fiscalização do uso e da exploração dos recursos naturais no Estado de São Paulo, tem como objetivos básicos:

I - cumprir e fazer cumprir determinações resultantes de convênios e acordos com os órgãos federais, relacionados com seu campo de atuação;

II - elaborar e propor normas técnicas referentes à aplicação, no Estado de São Paulo dos Códigos Florestal, de Caça, de Pesca e da legislação de proteção ambiental, observadas as limitações previstas nos respectivos convênios e acordos;

III - planejar e promover a realização de estudos e atividades com vistas à preservação e à sobrevivência da flora e da fauna, mantendo ou restabelecendo o equilíbrio biológico no Estado de São Paulo;

IV - propor o enquadramento de regiões do Estado de São Paulo em regimes especiais de proteção, a fim de garantir a perpetuidade de monumentos naturais;

V - conceder registros e expedir licenças para a exploração de recursos naturais, mediante delegação dos órgãos competentes;

VI - promover a realização de:

a) estudos estatísticos e econômicos que avaliem as atividades de proteção dos recursos naturais;

b) estudos dos impactos multidiferenciados sobre os recursos naturais, quando da execução de projetos que os afetem;

VII - desenvolver estudos e atividades que visem informar e orientar a população sobre a importância da preservação e utilização racional dos recursos naturais, bem como da reposição adequada dos mesmos.

### **2.3. Desenvolvimento Sustentável**

A Conferência de Estocolmo, promovida pela ONU, em 1972, resultou na Declaração sobre o Ambiente Humano, determinando ao mundo que "tanto as gerações presentes como as futuras tenham reconhecida, como direito fundamental, a vida num ambiente sadio e não degradado" (DECLARAÇÃO DE ESTOCOLMO, 1972).

Ainda em 1972 o Clube de Roma, associação internacional formada por intelectuais, cientistas e empresários, fundada em 1968, divulgou o Relatório os Limites do Crescimento, também conhecido como Relatório Meadows. Esse documento avaliou

as condições da degradação ambiental planetária e estabeleceu as previsões para o futuro. Os resultados publicados foram pessimistas e apontaram para duas possibilidades: ou a mudança dos padrões de crescimento econômico ou o colapso ecológico nos próximos 100 anos (OLIVEIRA, 2003).

Em 1982 foi publicado o documento “O Nosso Futuro Comum”, mais conhecido como “Relatório Brundtland”, o qual consolidou a visão crítica do modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e mimetizado pelas nações em desenvolvimento. O documento conceitua como sustentável “o modelo de desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”. A partir de sua publicação, o documento tornou-se referência mundial para a elaboração de estratégias e políticas de desenvolvimento eco-compatíveis. (NOVAES, 2006)

Na resolução da Assembléia Geral das Nações Unidas em dezembro de 1989, foi solicitada a organização de uma reunião mundial para elaborar estratégias que objetivassem deter e reverter os processos de degradação ambiental e promovessem o desenvolvimento sustentável e ambientalmente racional. Como resposta, foi organizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD – Rio 92) no Rio de Janeiro (BR) e elaborada a Agenda 21.

A Agenda 21 é um programa de ação para viabilizar a adoção do desenvolvimento sustentável e ambientalmente racional em todos os países. O documento da Agenda constitui, fundamentalmente, um roteiro para a implementação de um novo modelo de desenvolvimento que se quer sustentável quanto ao manejo dos recursos naturais e preservação da biodiversidade, equânime e justo tanto nas relações econômicas entre os países como na distribuição da riqueza nacional entre os diferentes segmentos sociais, economicamente eficiente e politicamente participativo e democrático (NOVAES, 2006).

Segundo Tundisi (2003), o desenvolvimento sustentável prevê manutenção dos recursos naturais e sua disponibilização às próximas gerações. O conceito de desenvolvimento sustentável deve apoiar-se em um conjunto de informações confiáveis – banco de dados - e em um sistema de informações de qualidade derivado desse banco de dados, vital para a implementação de projetos. São eles (Banco Mundial apud TUNDISI, 2003): biodiversidade; recursos hídricos; dinâmica populacional; mudanças globais; degradação do solo; recursos humanos; poluição e contaminação; integração econômica.

No estudo realizado por Freiria e Garcia (2002) foi construído um indicador para avaliação da qualidade ambiental (Indicador de Qualidade Ambiental Urbana - IQAU) na cidade de Pinhais – região metropolitana de Curitiba. Os resultados obtidos demonstraram a dificuldade da manutenção de condições ambientais sustentáveis, por se tratar da ocupação de região de manancial devido ao paradoxo de ocupação versus preservação. Estes fatores são comprovados pela má qualidade de água dos rios que fazem parte do sistema integrado de abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba. Para a mudança do perfil de desenvolvimento adotado, é necessário investimento em ações de monitoramento, controle ambiental e educação em conjunto com ações integradas entre o governo do estado e as autoridades municipais para manter a qualidade deste ambiente urbano.

O crescimento da população mundial, as largas diferenças entre poder econômico e político contribuem para a deterioração ambiental, que, por sua vez, altera tanto a vida das pessoas quanto a estabilidade política e econômica mundial. Apesar disso, a maioria dos problemas são ignorados pelas políticas de governo, o que leva ao distanciamento do tão almejado desenvolvimento sustentável.

#### **2.4. Impactos da Urbanização no Meio Ambiente**

A população mundial está aumentando mais que 86 milhões de pessoas a cada ano. Esse rápido crescimento traz enormes pressões aos recursos naturais, infraestrutura urbana e serviços, e ao governo, especialmente nos países mais pobres, onde o crescimento é mais rápido (WORLD RESOURCES, 1996-97-B).

O contínuo crescimento da população mundial e a correspondente demanda tecnológica impõem pressões crescentes ao nosso meio ambiente. A sociedade, além de requerer mais e mais recursos do meio ambiente, também está constantemente aumentando suas influências nos processos naturais atuantes na superfície do nosso planeta. A população tornou-se um agente geológico similar em magnitude, àqueles envolvidos nos principais processos naturais, tais como explorações de recursos minerais, energéticos e hídricos e na erosão induzida pelo homem (MENDES, 2001).

As mudanças e tendências recentes da rede de cidades no Brasil, conforme GEOBRASIL (2002), apontam para um conjunto de problemas ambientais urbanos comuns, que pressionam a base de recursos naturais. Entre as questões que afetam o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras destacam-se as relacionadas ao

acesso à terra, uso e ocupação do solo, saneamento ambiental, transporte urbano e desenvolvimento das atividades econômicas.

Segundo GEOBRASIL (2002), o número de moradores em favelas chegou a mais de 5 milhões em 1991, sendo que as mesmas vão se ampliando em todas as áreas, mesmo naquelas onde há uma redução acentuada das taxas de crescimento da população como um todo.

Em algumas cidades, quase a metade do espaço construído está na esfera do irregular e do informal, envolvendo questões desde a insegurança da construção, às formas de ocupação de áreas vulneráveis. A irregularidade fundiária representa obstáculos ao acesso ao crédito e aos programas habitacionais oficiais. A invasão de áreas públicas, sobretudo ao longo de rios, córregos e encostas, embora seja um problema dramático, sobretudo nas metrópoles e grandes conurbações, já se faz sentir também em cidades de porte médio (MMA, 2000).

A Política Urbana que constitui os artigos 182 e 183 da Constituição Federal Brasileira de 1988 garante a ativa participação de entidades civis e movimentos sociais em defesa do direito à cidade, à habitação e ao acesso a melhores serviços públicos. Também o Estatuto da Cidade reúne importantes instrumentos urbanísticos, tributários e jurídicos que podem assegurar a efetividade do Plano Diretor, o qual deve ser, obrigatoriamente, elaborado nas cidades com mais de vinte mil habitantes. Portanto, os elementos discutidos no Plano Diretor devem ter cada vez mais consistência, clareza e objetividade.

No entanto, os maiores problemas que surgem para a efetiva fixação das diretrizes é a falta de informação da realidade do seu território (banco de dados consistentes), inexistência de mapeamento atualizado ou em escalas compatíveis com a finalidade do trabalho e quadro técnico especializado deficiente (HANSER, 2002).

Conforme WORLD RESOURCES (1996-97-A), as cidades englobam a diversidade e energia necessária ao progresso econômico e social da humanidade. No entanto, elas também exercem papel fundamental na degradação do ambiente físico e na forma do ambiente social. As alterações nos ambientes urbanos geram altos custos, tornando mais difícil o crescimento econômico.

No mundo desenvolvido, quase totalmente urbanizado, o maior progresso em áreas urbanas, nas décadas mais recentes, tem sido alcançado ao organizar os problemas ambientais locais, contribuindo significativamente para o ambiente regional e global. O aumento dos níveis de consumo, característico de populações de áreas urbanas, leva à

geração de grandes quantidades de resíduos. O impacto desta poluição é sentido localmente e a grandes distâncias da fonte. Despejos industriais e domésticos contaminam ar, solo e água com nutrientes e tóxicos. Em geral o ar degradado, o solo e a água atingem a flora e a fauna (WORLD RESOURCES, 1996-97-C).

Os processos de degradação do meio ambiente urbano apresentam-se relacionados à velocidade de urbanização nos últimos anos (WADA, 2000). Segundo a autora, em função da falta de soluções para os modelos sócio-econômicos e tecnológicos locais, o Brasil, bem como os países da América Latina, optaram pela adoção de modelos trazidos de países desenvolvidos. Tais modelos, muitas vezes, não consideram a diversidade dos ecossistemas e nem os impactos diferentes de uma tecnologia supostamente universal e suas conseqüências que levam o desenvolvimento ao uso predatório de recursos naturais. Como conseqüência, têm-se os efeitos danosos de um mau desenvolvimento e de uma má gestão, que atingem o bem-estar humano e a qualidade do meio ambiente.

As populações urbanas, muitas vezes, situam-se em ambientes degradados pela poluição das águas, do ar e do solo, pelo ruído, perda de áreas naturais e mudanças no microclima; convivem com a inadequação e a falta de habitações, transporte, serviços públicos, resíduos, causando a diminuição da qualidade de vida; altas taxas de desemprego e suas conseqüências sociais (WADA, 2000).

Conforme constatado em um novo estudo do WORLDWATCH INSTITUTE (2003), atualmente há mais desabrigados no mundo em conseqüência de desastres naturais do que de conflitos. Na década de 90, as catástrofes naturais como furacões, inundações e incêndios afetaram mais de dois bilhões de pessoas, causando prejuízos superiores a US\$ 608 bilhões, em todo o mundo – uma perda maior do que nas quatro décadas anteriores, combinadas. Porém, cada vez mais, a devastação provocada por estes desastres naturais é de origem desnatural, devido a práticas ecologicamente destrutivas e a um número cada vez maior de pessoas residindo no caminho do perigo.

No meio urbano, várias são as ações antrópicas que causam impactos negativos ao meio ambiente. Entre elas têm-se as ocupações desordenadas e de forma inadequada (ex: em áreas ribeirinhas) e a mineração (extração de argila, areia ou rocha dura). Os impactos decorrentes das interferências no meio físico são representados pelo surgimento de processos erosivos, assoreamento, poluição das águas subterrâneas, etc.

Segundo Tundisi (2003), “o crescimento da população no Brasil promoveu aumento considerável nas demandas hídricas, associado à expansão urbana, à degradação dos mananciais e à contaminação e poluição”.

Alterações no ciclo hidrológico, produzidas pela inadequada ocupação do espaço, geram enchentes urbanas freqüentes, problemas na coleta e disposição do lixo urbano, que resultam em contaminação dos aquíferos e águas superficiais, e perdas na distribuição (TUCCI e MARQUES, 2000).

A produção concentrada de esgotos aumentou consideravelmente nos últimos 30 anos (TUNDISI, 2003). Segundo o autor, as principais atividades humanas responsáveis pelos impactos nos recursos hídricos são: urbanização e despejo de esgoto sem tratamento; construção de estradas; desvio de rios e construção de canais; mineração; hidrovias; construção de represas; atividades industriais.

Segundo Wada (2000), pode-se destacar como causas da degradação do ambiente urbano: a densificação desordenada das cidades (cidades com centros urbanos com densidades altas e um percentual de vazios urbanos expressivo, enfrentando altos custos de infra-estrutura por habitante – em cidades de médio porte); grandes cidades (cujos indicadores de degradação ambiental apontam para a poluição das águas, do ar e do solo); baixa capacidade de gestão urbana e ambiental sobre um espaço em constante expansão e alteração de uso; dificuldades do poder público em financiar a provisão de infra-estrutura, e da população em pagar os altos custos dos serviços.

Barroso et al. (1996) apontam que os problemas decorrentes da interação entre ação antrópica e meio físico são causados, principalmente, pela não consideração das limitações e aptidões desse meio, indispensáveis para evitar prejuízos às condições de vida, segurança nas construções, proteção dos recursos naturais e, conseqüentemente, do meio ambiente.

Carvalho e Prandini (1998) destacam que o meio urbano, vasto e mal ocupado, é campo de aplicação do conhecimento geológico: desde o princípio do processo de urbanização "a estrutura das cidades está impregnada das características comportamentais do geológico, que determinam os desempenhos do meio físico, de modo sutil ou ostensivo".

McDonald & Brown apud Collares (2000) defendem a utilização do estudo de impacto ambiental (EIA) em termos de planejamento e não apenas na avaliação de impacto ambiental para empreendimentos específicos. Desta forma, é permitido avaliar

o grau de desagregação que existe em uma determinada área em função das atividades existentes.

Conforme Franco (2000), os recursos ambientais estão intimamente relacionados e interdependentes. Tanto a pobreza quanto o crescimento acelerado da população, a destruição dos recursos e a degradação do meio ambiente estão sempre conectados.

As avaliações de impacto ambiental (EIA) ocorrem diante da necessidade de incluir nos projetos a proteção do meio natural e o uso racional dos recursos naturais, além de considerar os danos sócio-econômicos dos projetos, e as conseqüências que podem trazer a curto, médio e longo prazo (ARCIA et al., 1996).

Uma das formas de degradação observada por Gonçalves (1986), e também por Aguiar (1989), na cidade de São Carlos-SP, foi o lançamento de esgoto doméstico ocorrendo diretamente em córregos e riachos da cidade. Outra degradação existente é a deposição do lixo em local inadequado, sendo o chorume conduzido pela própria topografia a um córrego próximo do local. Ainda, segundo Gonçalves (1986), na área de expansão da cidade de São Carlos, existem algumas pedreiras de brita e arenito, algumas delas em estado de semi-abandono.

Gaspar (2000) estudou o processo erosivo existente na cidade de São Carlos-SP, instalado em um bairro da cidade, onde salientou que o desmatamento da área para a implantação do loteamento foi o fator indutor. Este processo agravou-se devido à concentração do escoamento das águas no período das chuvas de 1999.

Aguiar (1989) verificou, durante a realização de mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP, que os problemas relativos à erosão ocorrem na cidade, sobretudo, devido à ocupação desordenada e, em menor proporção, por características inerentes ao meio físico (declividade, tipo de material, vegetação, etc.).

Bonani et al. (1997) comentam que em grande parte do território italiano se verifica a ocorrência de diversos riscos geológicos. Apesar da existência de uma série de estudos preliminares sobre as potencialidades do solo, sobre a exploração de recursos, a vulnerabilidade de áreas, entre outros, o planejamento para a instalação de atividades industriais ainda considera muito pouco as características geológicas, ocasionando o uso inadequado do solo e permitindo o desenvolvimento indiscriminado das áreas industriais e a subsequente urbanização.

O levantamento de dados geotécnicos relativos à utilização dos solos, quanto à possibilidade de instalação de áreas industriais e áreas residenciais, com base em dados de declividade, drenabilidade, instalação de equipamentos sépticos, materiais de

construção, fundações, resistência ao cisalhamento, escavabilidade e material de cobertura, contribuem para o planejamento de uma cidade.

O impacto ambiental pode ser definido como:

(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do Meio Ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam: I- a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II- as atividades sociais e econômicas, a biota; III- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; IV- a qualidade dos recursos ambientais" (Resolução CONAMA Nº 001 de 23.01.86, Art.1º).

## **2.5. Degradação Ambiental**

Na legislação ambiental brasileira, o conceito de degradação é: “o conjunto de processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (Decreto Federal 97.632/89).

Conforme a LEI FEDERAL Nº 6.938/81 - PNMA DE 31/08/81, Art. 3º, degradação ambiental é “a alteração adversa das características do meio ambiente”.

Para IBAMA (1990) “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico”.

Segundo Wada (2000), por degradação entende-se a perda de utilidade ou potencialidade ou; redução, perda ou mudança das características ou organismos os quais apresentam grandes dificuldades em serem substituídos ou repostos.

Segundo Eswaran et al. (2003), alguns termos comuns (por exemplo, degradação do solo, desertificação) são usados na literatura, freqüentemente com sentido distinto, e conduzem à falta de interpretação interdisciplinar. O termo degradação ou desertificação refere-se ao declínio irreversível do potencial biológico da terra, o qual depende dos numerosos fatores de interação, difíceis de definir.

Bitar et al. (1995) esclarece que a noção empregada sobre o significado de área degradada encontra correspondência direta com a idéia de situações de degradação dadas por diferentes tipos de intervenção no meio físico.

Conforme Moreno (2000), a degradação ambiental é um dos maiores problemas que se vive atualmente, principalmente nas regiões metropolitanas e nas regiões em processo de metropolização, o qual leva ao agravamento da qualidade de vida regional e principalmente a intra-urbana. Neste caso, torna-se necessário implementar ações que levem em consideração as características ambientais, a fim de estabelecer um diagnóstico ambiental amplo.

No estudo de degradação ambiental, torna-se necessário conhecer as relações entre os elementos que constituem o meio natural, entender os processos e os fenômenos e comportamentos do meio físico relacionados com as diferentes formas de interferência das ações humanas.

A recuperação de áreas degradadas pressupõe o conhecimento da origem, evolução e estágio da degradação instalada, o que requer a contribuição de vários campos técnico-científicos que lidam com a questão ambiental. Na Tabela 2.1 são apresentadas as principais atividades antrópicas que causam impacto ambiental e os tipos de degradação.

Tabela 2.1- Atividades de impacto ambiental e tipos de degradações (Desenvolvimento Sustentável: Relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (1991), modificado e, SEBRAE *apud* PRESERVAÇÃO, 2003).

<b><u>Atividades</u></b>	<b><u>Tipos de degradação</u></b>
<b>Garimpo de ouro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assoreamento dos cursos d'água e erosão dos solos;</li> <li>• Poluição das águas por mercúrio;</li> <li>• Impactos socio-econômicos</li> </ul>
<b>Mineração industrial: ferro, manganês, cassiterita, cobre, bauxita e outros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição e assoreamento dos cursos d'água e erosão dos solos;</li> <li>• Esterilização de grandes áreas naturais.</li> </ul>
<b>Agricultura e pecuária extensiva</b> (grandes projetos agropecuários)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incêndios, destruição da fauna, flora;</li> <li>• Contaminação e assoreamento dos cursos d'água e erosão dos solos.</li> </ul>
<b>Grandes usinas hidroelétricas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto cultural e socio-econômico;</li> <li>• Inundação em áreas florestais.</li> </ul>
<b>Pólos industriais e/ou grandes indústrias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição do ar, água e solo;</li> <li>• Geração de resíduos tóxicos;</li> <li>• Conflitos com o meio urbano.</li> </ul>
<b>Construção de rodovias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração da cobertura vegetal;</li> <li>• Alteração dos solos;</li> <li>• Impactos socio-econômicos e culturais.</li> </ul>

continua

continuação

<b><u>Atividades</u></b>	<b><u>Tipos de degradação</u></b>
<b>Caça e pesca predatórias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometimento da fauna e da biodiversidade;</li> <li>• Diminuição de estoques pesqueiros (lagostas e peixes de maior valor econômico);</li> <li>• Danos socio-econômicos e culturais.</li> </ul>
<b>Indústrias de alumínio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição atmosférica e marinha;</li> <li>• Impactos indiretos pela enorme demanda de energia.</li> </ul>
<b>Crescimento populacional vertiginoso (migração interna)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes problemas de saúde;</li> <li>• Ocupação desordenada dos solos com sérios danos aos recursos naturais.</li> </ul>
<b>Agroindústria de açúcar, álcool, papel e celulose</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração dos ecossistemas naturais;</li> <li>• Poluição das águas, exaustão dos solos;</li> <li>• Grandes problemas sociais.</li> </ul>
<b>Expansão urbana desordenada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradação de ecossistemas naturais;</li> <li>• Degradação da paisagem e alterações econômicas, como turismo e pesca em áreas litorâneas.</li> </ul>
<b>Atividade portuária</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas costeiras e poluição do ar;</li> <li>• Impactos sobre áreas urbanas;</li> <li>• Riscos de acidentes e poluição atmosférica.</li> </ul>
<b>Grandes latifúndios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento, queimadas e degradação dos solos;</li> <li>• Dominação por grupos econômicos.</li> </ul>
<b>Carcinicultura (cultura dos crustáceos) e salinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruição de Manguezais (aterros, terraplenagens);</li> <li>• Impactos na vida marinha e na pesca.</li> </ul>
<b>Siderúrgicas, olarias e outras indústrias a carvão vegetal extraído da vegetação nativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de lenha e carvão vegetal;</li> <li>• Degradação dos solos;</li> <li>• Problemas socio-econômicos.</li> </ul>
<b>Prospecção e exploração de combustíveis fósseis-petróleo e gás natural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação do lençol freático de águas superficiais;</li> <li>• Desmatamento de áreas naturais.</li> </ul>
<b>Grandes projetos agropecuários</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento e queimadas;</li> <li>• Drenagens, erosão e assoreamento;</li> <li>• Poluição das águas, alteração dos solos.</li> </ul>
<b>Atividades consumidoras de madeiras como matéria-prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento da vegetação nativa;</li> <li>• Degradação da fauna e da flora;</li> <li>• Comprometimento da biodiversidade.</li> </ul>
<b>Matadouro, frigorífico, laticínios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas, prejuízos à vida aquática e à saúde;</li> <li>• Poluição atmosférica.</li> </ul>
<b>Invasão de reservas indígenas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto cultural e social sobre populações indígenas;</li> <li>• Desmatamento e queimadas.</li> </ul>
<b>Grandes concentrações urbanas (áreas metropolitanas)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas, dos solos e do ar;</li> <li>• Problemas socio-econômicos.</li> </ul>

continua

continuação

<b>Atividades</b>	<b>Tipos de degradação</b>
<b>Concentração de veículos automotores em áreas metropolitanas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição atmosférica, poluição sonora;</li> <li>• Grande número de acidentes.</li> </ul>
<b>Agricultura mecanizada com alto consumo de agrotóxicos e grande áreas homogêneas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compactação, erosão, contaminação e diminuição da fertilidade dos solos;</li> <li>• Assoreamento e contaminação dos cursos d'água.</li> </ul>
<b>Transportes de combustíveis em oleodutos e gasodutos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento e erosão dos solos;</li> <li>• Riscos de acidentes com prejuízos para a fauna, a flora e a vida humana.</li> </ul>
<b>Expansão urbana desordenada na faixa litorânea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração de ecossistemas litorâneos</li> <li>• Poluição de áreas naturais (praias)</li> <li>• Prejuízos ao lazer, turismo e pesca</li> </ul>
<b>Indústrias siderúrgicas primitivas (Ferro Gusa)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruição de florestas nativas para produção de carvão vegetal;</li> <li>• Poluição das águas dos rios e do ar.</li> </ul>
<b>Curtumes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição dos cursos d'água por metais pesados.</li> </ul>
<b>Extração de carvão mineral</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas e dos solos;</li> <li>• Degradação dos solos, com prejuízos para a agricultura;</li> <li>• Doenças ocupacionais.</li> </ul>

A comparação na Tabela 2.2, elaborada por Oldeman (1994) *apud* Eswaran et al. (2003), mostra que a extensão global de áreas degradadas (por todos os processos) é de aproximadamente 1,9 bilhão ha.

Tabela 2.2- Estimativas da extensão global (em milhão de km<sup>2</sup>) de áreas degradadas (Oldeman, 1994 *apud* ESWARAN et al., 2003).

<b>Tipo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Forte+ Extremo</b>	<b>Total</b>
Erosão hídrica	3,43	5,27	2,24	10,94
Erosão eólica	2,69	2,54	0,26	5,49
Degradação química	0,93	1,03	0,43	2,39
Degradação física	0,44	0,27	0,12	0,83
Total	7,49	9,11	3,05	19,65

Conforme Eswaran et al. (2003), os diferentes processos de degradação confundem as estatísticas disponíveis. Os principais processos de degradação da terra incluem a erosão pela água e pelo vento, a degradação química (que compreende a acidificação, a salinização, lixiviação, etc.) e degradação física (que compreende encrostamento, compactação, etc.). Algumas terras ou unidades da paisagem são afetadas por mais de

um processo, de erosão da água e do vento, de salinização e de encrostamento ou de compactação. A Tabela 2.3 mostra um exemplo de sobreposição de processos degradantes.

Tabela 2.3- Degradação da terra nas plantações na Austrália (ESWARAN et al., 2003).

<b>Tipo</b>	<b>Área ('000 km<sup>2</sup>)</b>
Total	443
Não degradadas	142
Degradadas	301
i. Erosão hídrica	206
ii. Erosão eólica	52
iii. Erosão hídrica e eólica combinadas	42
iv. Salinização e erosão hídrica	0,9
v. Outros	0,5

Conforme Morokawa (1990), para ser evitado que a degradação ambiental atingisse diretamente a maioria da população nos grandes centros urbanos, seriam necessárias providências nos seguintes aspectos: redução da emissão de gases e partículas sólidas dos veículos automotrizes e das indústrias; produção e tratamento da água potável e de uso industrial; controle e tratamento de lixo, esgoto e efluentes industriais; contenção de encostas, controle de erosão e drenagens; disciplinamento das favelas; preservação de áreas verdes; recuperação de áreas degradadas através de reflorestamento; arborização de ruas e parques e criação de áreas verdes.

A seguir, são comentadas as degradações do solo mais freqüentes em meios urbanos.

### **2.5.1. Atividades e processos que causam a degradação do solo**

Primeiramente, é preciso conceituar o solo sob o ponto de vista da Geologia de Engenharia, cujas aplicações vão desde obras civis às questões ambientais. O solo é entendido como “uma camada viva que recobre a superfície da Terra, em evolução permanente, por meio da alteração das rochas e dos processos pedogenéticos comandados por agentes físicos, químicos e biológicos”, ou de forma mais atualizada,

(...) material natural consistindo de camadas ou horizontes (diferenciação vertical que define o perfil do solo, ou lateralmente, ao longo de vertentes) de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas

espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, e por características biológicas. Os horizontes do solo são inconsolidados, mas alguns contêm suficientes porções de sílica, carbonatos ou óxidos de ferro para cimentá-los (OLIVEIRA e BRITO,1998).

Para a ABNT (1989), a noção expressa de degradação do solo é como sendo a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”.

Segundo Blum (1998), degradação do solo pode ser definida como perda ou redução da energia do solo, o que vem a causar prejuízos as suas funções e usos, pois esses necessitam da energia no solo para ocorrer. Juntamente com o processo natural de degradação do solo, o autor aponta as atividades antrópicas como causa de degradação, especialmente devido à competição entre os vários tipos de uso do solo.

Conforme Bitar et al. (1993), solos degradados implicam em uma diminuição de seus componentes formadores, quando existe a perda de elementos físicos, químicos e/ou biológicos, podendo restringir sua capacidade produtiva, “corresponde à alteração adversa das características do solo em relação aos seus vários usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”.

De acordo com Luchesi et al. (1992), a degradação do solo é definida pela FAO-UNEP como resultado de um ou mais processos que minimizem sua capacidade produtiva, atual ou potencial, em produzir bens ou serviços.

Conforme Dias e Griffith (1998), de acordo com o uso atribuído ao solo, a definição de degradação pode variar. No caso da degradação de terras agrícolas, esta considera os aspectos relativos ao meio físico do solo e os aspectos econômicos, os quais estão relacionados com a perda de produtividade. Do ponto de vista da engenharia civil, o conceito de solo degradado está relacionado com a alteração da capacidade em se manter coeso e como meio físico de suporte para edificações, estradas, etc. A densidade do solo é um bom exemplo que pode caracterizar um processo de degradação, no caso de não apresentar condições satisfatórias de suporte para edificações, rodovias, etc.

A degradação física do solo, do ponto de vista agricultável, também pode ser definida como uma mudança em suas propriedades físicas que influi negativamente sobre a produção. Manifesta-se pela acentuada perda de qualidade na estrutura dos solos pelo colapso dos primeiros 3 a 4 cm devido ao efeito das chuvas, o que se traduz no aparecimento de finas crostas em sua superfície, na compactação sob a camada arável e

na conseqüente diminuição nas taxas de infiltração de água, aumento do escoamento superficial, perdas por erosão, aumento nos custos de produção por unidade de área e redução da produtividade (Mielniczuk & Schineider, 1984 *apud* LUCHESI et al., 1992).

Muro (2000) comenta que nascentes, córregos, poços profundos, poços rasos, solos em geral estão sujeitos às fontes geradoras de contaminação ou poluição, que podem ser o esgoto doméstico, o lixo urbano, os despejos industriais, os fertilizantes e defensivos agrícolas, os dejetos de animais, as águas superficiais, caso estejam poluídas, e outras fontes. No entanto, é muito difícil conhecer todas as fontes contaminantes e o produto da contaminação no meio em que é lançado, devido ao fato da complexidade e a variedade dos meios envolvidos.

Conforme Wegner et al. (2001), o uso sustentável do solo é uma necessidade premente para a garantia da qualidade de vida da população rural. O desenvolvimento rural de uma sociedade implica em uma correta utilização de recursos naturais, no caso o solo, devendo esta ser feita de acordo com sua capacidade de uso.

O mau uso do solo é um dos principais efeitos de sua degradação, o que causa impactos diretos e indiretos sobre o meio rural, tais como: desmatamento; assoreamento dos córregos, rios, lagos e reservatórios em geral; enchentes; contaminação e poluição das águas superficiais e subterrâneas, eutrofização de lagos e represas; poluição atmosférica devido à queima do bagaço da cana-de-açúcar e aspersão de produtos químicos feitos por aviões (CARVALHO, 2003).

As principais causas da degradação do solo, conforme Barrow (1991), são:

- Causas básicas: riscos naturais que podem causar degradação; taludes íngremes; solos danificados facilmente; terras ácidas, solos áridos; terras de baixa altitude em relação ao mar; regiões de chuvas intensas; estiagem, áreas de risco no curso de monções; furacões em áreas propensas; terremotos ou perigos vulcânicos.
- Atividades humanas que podem contribuir com os riscos naturais: construções em planícies alagadas; remoção de vegetação; alteração da hidrografia; pastagens intensivas; escoamento, alagamentos, enchentes.
- Mudanças populacionais: pressão da população ocasionando o uso excessivo da qualidade do solo; uso incorreto de áreas degradadas; duplo impacto, aumento de demanda e destruição da base de recursos; desprezo da população sobre o crescimento que pode causar impacto.

Os impactos da produtividade da degradação da terra são devidos a um declínio na qualidade do solo no local onde a degradação ocorre (ex: erosão) e fora do local onde os sedimentos são depositados (ESWARAN et al., 2003).

O valor relativo das perdas econômicas devido ao declínio da produtividade contra a deterioração ambiental também criou um debate. Alguns economistas discutem que o impacto no local da erosão do solo e outros processos degradantes não são severos o bastante para possibilitar executar algum plano de ação a um nível nacional ou internacional. Fazendeiros discutem que devem tomar cuidado com as iniciativas de restauração necessárias para melhorar a produtividade. Agrônomos e cientistas do solo, por outro lado, discutem que a terra é um recurso não-renovável na escala humana e alguns efeitos adversos de processos degradantes na qualidade da terra são irreversíveis.

De acordo com GLASOD *apud* Mermut e Eswaran (2001), 1964 milhões ha de terra agricultável em todo o mundo está degradada (Tabela 2.4). Entretanto, uma avaliação global não é suficiente se programas eficazes ou medidas políticas têm que ser implementadas em um determinado país para direcionar as tecnologias de mitigação.

Tabela 2.4- Degradação do solo por alteração antrópica no mundo (GLASOD). (MERMUT e ESWARAN, 2001).

<b>Tipo</b>	<b>Baixa</b> (milhão ha)	<b>Moderada</b> (milhão ha)	<b>Forte</b> (milhão ha)	<b>Extrema</b> (milhão ha)	<b>Total</b> (milhão ha)	<b>Total</b> (%)
Perda da camada superficial do solo	301,2	454,5	161,2	3,8	920,3	
Deformação do terreno	42,0	72,2	56,0	2,8	173,3	
<b>HÍDRICA</b>	<b>343,2</b>	<b>526,7</b>	<b>217,2</b>	<b>6,6</b>	<b>1093,7</b>	<b>55,7</b>
Perda da camada superficial do solo	230,5	213,5	9,4	0,9	452,2	
Deformação do terreno	38,1	30,0	14,4	-	82,5	
Overblowing	-	10,1	0,5	1,0	11,6	
<b>EÓLICA</b>	<b>268,6</b>	<b>253,6</b>	<b>24,3</b>	<b>1,9</b>	<b>548,3</b>	<b>27,9</b>
Perda de nutrientes	52,4	63,1	19,8	-	135,3	
Salinização	34,8	20,4	20,3	0,8	76,3	
Poluição	4,1	17,1	0,5	-	21,8	
Acidificação	1,7	2,7	1,3	-	5,7	
<b>QUÍMICA</b>	<b>93,0</b>	<b>103,3</b>	<b>41,9</b>	<b>0,8</b>	<b>239,1</b>	<b>12,2</b>

continua

continuação						
<b>Tipo</b>	<b>Baixa</b> (milhão ha)	<b>Moderada</b> (milhão ha)	<b>Forte</b> (milhão ha)	<b>Extrema</b> (milhão ha)	<b>Total</b> (milhão ha)	<b>Total</b> (%)
Compactação	34,8	22,1	11,3	-	68,2	
Inundação	6,0	3,7	0,8	-	10,5	
Recalque de solos orgânicos	3,4	1,0	0,2	-	4,6	
<b>FÍSICA</b>	<b>44,2</b>	<b>26,8</b>	<b>12,3</b>	<b>-</b>	<b>83,3</b>	<b>4,2</b>
<b>TOTAL</b>						
(milhões ha)	749,0	910,5	295,7	9,3	1964,4	100
(%)	38,1	46,1	15,1	0,5		

Segundo Barrow (1991), os solos degradados aparecem apenas como um dos últimos reflexos da atividade que o causou, seja ela provocada pelo homem, ou por algum efeito da natureza, podendo apresentar-se pela combinação das duas, sendo, por isso, difícil de prever. E, apesar de ser grande o conhecimento nesta área, atitudes de prevenção de degradações são praticamente negligenciadas, atuando apenas na correção dos danos ocorridos.

Em estudo realizado na área urbana do município de Mariana-MG, a qual possui muitas características e problemas decorrentes da expansão urbana desordenada, Sobreira e Castro (2002) concluíram que: a ocupação de áreas impróprias pode resultar em impactos diversos, que podem afetar tanto a paisagem urbana quanto a qualidade de vida da população; a má utilização do meio físico pode dificultar a implementação dos equipamentos urbanos, ocasionar a degradação ambiental e o surgimento de situações de risco geológico (inundações e escorregamentos); os processos geológicos podem ser acelerados pela ação antrópica, como a execução de cortes inadequados, impermeabilização do terreno, obras de drenagem insuficientes ou mal projetadas, além da remoção da cobertura vegetal; o avanço destas formas de uso e ocupação em áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos gravitacionais de massa acelera e amplia os processos de instabilização, ocasionando maiores problemas no futuro.

O conceito de qualidade do solo como indicador de degradação deve ser utilizado a partir de uma visão mais ampla. Os atributos ou características do solo devem ser avaliados e monitorados para definir a manutenção, o ganho ou a perda de qualidade. Para a caracterização de um processo de degradação, deve-se avaliar a dinâmica da qualidade do solo (DIAS e GRIFFITH, 1998).

Doran e Parkin (1996) apresentam uma lista, proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, que procura unir os indicadores propostos:

Indicadores físicos: textura; profundidade do solo; profundidade do horizonte superficial e das raízes; densidade do solo; taxa de infiltração; capacidade de retenção de água.

Indicadores químicos: carbono orgânico total; matéria orgânica do solo; N total; pH; condutividade elétrica; N,P e K disponíveis.

Indicadores biológicos: C e N contidos na biomassa microbiana; N potencialmente mineralizável (incubação anaeróbica); taxa de respiração do solo.

O uso adequado desses indicadores deve procurar integrá-los de maneira harmônica ao ecossistema em estudo. A determinação dos valores de referência passa a ser o ponto principal do processo de avaliação da degradação. Não é recomendável usar padrões fixos para a comparação, e sim fazê-la adotando-se valores obtidos a partir de uma área próxima em que não tenha havido a intervenção antrópica.

Conforme West e Bosch (1998), existem quatro maneiras para avaliar a degradação do solo: observação direta e medida; técnicas de sensoriamento remoto; métodos paramétricos e; modelos de simulação. Entre eles, os métodos paramétricos e os modelos de simulação são os que prometem melhores resultados para o conhecimento de funções e processos de degradação do solo para amplas áreas, e a custos acessíveis. A precisão dos resultados obtidos destes métodos, no entanto, dependem da disponibilidade e confiabilidade do solo, clima, topografia e manejo utilizados na avaliação.

Conforme Dias e Griffith (1998) os substratos resultantes dos diferentes processos e atividades que conduzem à degradação do solo apresentam características que decorrem do tipo e da composição da rocha matriz, dos processos de degradação, da forma e do tempo de exposição do material. Em virtude de uma diversidade muito grande de situações, faz-se necessária a classificação inicial do material a ser recuperado.

Os cenários em que esses materiais são encontrados, podem ser classificados da seguinte forma, conforme Dias e Griffith (1998):

- Resíduo geológico em área remanescente plana: quando ocorre exposição dos horizontes inferiores do solo original, composto de material geológico heterogêneo (ex: áreas de empréstimo deixadas após a construção de barragens e de aterros em

estradas de rodagem e ferrovias são exemplos mais comuns). Característica importante neste tipo de material é o fato de não ter havido reviramento do material remanescente, somente a decapagem dos horizontes superiores do solo.

- Taludes decorrentes de cortes e de construção de barragens: estes taludes podem apresentar ou não uma estratificação decorrente dos horizontes que formam o solo original. Em função do tipo de solo e da profundidade de corte, pode existir a exposição do horizonte C, evidenciando a presença de fragmentos de rocha. A exposição de horizontes B e C, que não apresentam boa estruturação, os tornam extremamente susceptíveis aos agentes erosivos.
- Cavas de minas: a realização do processo de abertura de cavas para a exploração de minério exige a exposição de encostas e a confecção de bermas. A declividade das encostas e a largura das bermas são determinadas em função das características do material, do processo de abertura da cava, da necessidade de vias de acesso e do volume de minério a ser explorado. Na medida em que a cava se aprofunda, existe maior exposição de encostas e maior área de bermas. Isto trará complicações ao processo de revegetação devido à menor estabilidade de propágulos (orgânulos destinados a multiplicar vegetativamente as plantas) e a baixa capacidade de retenção de umidade e de disponibilidade de nutrientes, podendo ser contornado por meio da utilização das técnicas de geotêxteis e da confecção de tramas com material vegetal seco.

Em lavras a céu aberto, a retirada de minério sem o retorno de estéril ou mesmo dos horizontes superficiais conduz a um substrato remanescente formado por uma massa heterogênea de material geológico. A ação dos agentes de intemperismo pode levar, com o tempo, à formação de horizontes superficiais que promovem, à medida que se oxidam, a acidificação ou alcalinização do sistema, trazendo conseqüências para a rede de drenagem local.

- Horizontes reconstruídos em áreas mineradas: materiais com diferentes características e modos de aplicação que servem para o recobrimento da área de lavra, quer sejam com a finalidade de reconstrução topográfica, armazenamento de estéril ou mesmo para estabelecer condições favoráveis à revegetação. A presença de fragmentos de rocha e a inversão de horizontes podem resultar no aparecimento de complicações de ordem química e física, que afetarão o estabelecimento e crescimento de plantas quando do processo de revegetação.

- Depósitos controlados e não-controlados: material estéril retirado e depositado em locais previamente determinados, que resulta em uma mistura de materiais de diferentes granulometrias e composição química, que são decorrentes do tempo de intemperismo e da pluralidade de materiais de origem.

Conforme Dias e Griffith (1998), para áreas degradadas o esquema de amostragens pode ser estabelecido com base em um conhecimento prévio do substrato, por meio de algumas respostas:

- 1) Qual o tipo de substrato que se quer recuperar?
- 2) Qual o processo que resultou em sua degradação?
- 3) Qual o material de origem do solo original?
- 4) Qual é a topografia da área?
- 5) Como está distribuída a rede de drenagem?
- 6) Em se tratando de fragmentos de rocha, existem locais com maior ou menor tempo de exposição do material?
- 7) Existe algum fragmento de vegetação?

As áreas mais problemáticas para amostragem são aquelas com maior variabilidade em suas características (depósitos de estéril, rejeitos ou bota-foras).

Em um programa de caracterização de substratos, normalmente são identificadas as seguintes etapas (DIAS e GRIFFITH, 1998): identificação das principais rochas e minerais remanescentes; análises físicas; análises químicas.

O método de caracterização dos substratos degradados consiste das etapas de levantamento e produção de informações relativas aos atributos do meio físico, elaboração de mapas fundamentais básicos, amostragem, ensaios de laboratório e ensaios “in situ”, e elaboração de cartas derivadas interpretativas.

Os atributos relacionados aos materiais do substrato rochoso são: os tipos litológicos, profundidade do substrato rochoso e descontinuidades; os materiais inconsolidados (tipos, natureza, espessura); as águas superficiais e subsuperficiais (densidade de canais de drenagem, profundidade do nível de água, fontes naturais); os landforms; e as feições erosivas.

A seguir são citados os métodos empregados para a caracterização de substratos degradados, de acordo com as condições apresentadas in situ (DIAS & GRIFFITH, 1998):

- 1) Amostras deformadas: emprego de trado (tipo cavadeira). São obtidas em taludes naturais de erosões profundas ou artificiais (de corte) e destinadas para a realização dos

ensaios de massa específica dos sólidos, granulometria conjunta, azul de metileno (determinação da capacidade de troca catiônica e da superfície específica do solo).

2) Amostras indeformadas: uso de anéis cilíndricos construídos em PVC rígido. As amostras coletadas no cilindro maior são utilizadas para determinação dos índices físicos. As amostras coletadas no cilindro menor são destinadas aos ensaios de erodibilidade (ensaios de absorção de água e perda de peso por imersão).

3) Ensaio de infiltração da água “in situ”: dois cilindros confeccionados com chapas de aço. Objetiva a obtenção da capacidade de infiltração da água nas unidades dos materiais inconsolidados (mm/h).

### **2.5.1.1. Tipos de degradação do solo**

#### **2.5.1.1.1. Erosão**

Na geologia, os processos de erosão e sedimentação fazem parte da dinâmica externa de evolução da Terra, e tendem a nivelar sua superfície. Já os processos de dinâmica interna originam novos relevos e depressões, como a formação de cadeias, planaltos, fossas tectônicas e cadeias vulcânicas. No ecossistema urbano o homem torna-se um agente geológico, acelerando os processos da dinâmica externa, promovendo a degradação dos solos mais rapidamente, em detrimento de suas próprias necessidades futuras em terrenos para assentamentos (WADA, 2000).

Segundo Pejon (1992), o fenômeno da erosão consiste na ação combinada de uma gama de fatores que provocam o destacamento e transporte de materiais sobre a crosta.

Lal (2001) considera a erosão como um trabalho que envolve três processos básicos: destacamento, transporte e deposição das partículas do solo. A energia para este trabalho é fornecida pelos agentes erosivos, cuja magnitude e taxa de dissipação determinam a severidade dos processos. As fontes principais desta energia são: física (vento e água), química (reações), gravidade e antrópicas.

Ellison (1947) *apud* Fontes (1999) descreve a erosão do solo como sendo um processo de desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, implicando em dois eventos seqüenciais. No primeiro as partículas do solo se

desagregam de sua estrutura, tornando-se disponíveis ao transporte, e no segundo processo, os materiais desagregados são transportados.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento.

Rose (1998) comenta sobre as significantes similaridades e diferenças entre os processos envolvidos na erosão junto a cursos d'água e as causadas pelo vento. Ambas são entendidas como processos racionais que dependem da velocidade do vento ou do escoamento superficial.

Segundo Lal (1990), os diferentes tipos de erosão podem ser causados por três grandes grupos de agentes, pelo vento, pelos fluidos e pela gravidade (Figura 2.1).

		<b>EROSÃO EÓLICA</b>		
<b>VENTO</b>		<b>CHUVA</b>	<b>EROSÃO POR IMPACTO DAS GOTAS</b>	
<b>FLUIDOS</b>	<b>ÁGUA</b>	<b>ÁGUA DE ESCOAMENTO</b>	<b>ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b>	<b>EROSÃO EM SULCOS</b>
				<b>EROSÃO EM RAVINAS E BOÇOROCAS</b>
				<b>EROSÃO EM CONDUTOS FLUVIAIS</b>
		<b>ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL</b>	<b>EROSÃO EM CONDUTOS SUBTERRÂNEOS</b>	
		<b>OCEANO</b>	<b>EROSÃO COSTEIRA</b>	
	<b>GELO</b>	<b>EROSÃO GLACIAL</b>		
<b>GRAVIDADE</b>	<b>MOVIMENTO DE MASSA</b>	<b>AVALANCHE ESCORREGAMENTO SOLIFLUXÃO RASTEJO</b>		

Figura 2.1- Tipos de erosão segundo Lal (1990, modificado por ALCÂNTARA, 1997).

Conforme Valcarcel (1990), para facilitar o entendimento da dinâmica dos processos erosivos, é recomendado desenhar detalhadamente as áreas afetadas, para que possam ser reconstituídos os processos através da “animação” do desenho. O autor comenta que esta técnica, apesar de empírica, oferece importantes informações, que contrastadas com os vestígios deixados pelos processos erosivos no campo, permitirão compreender os principais componentes do processo ocorrido no transcorrer do fenômeno.

Para Pejon (1992) a erosão pode ser classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz num ambiente onde a mesma é controlada somente pelo equilíbrio dos fatores naturais. Esta pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo, podendo se tornar mais rápida a remoção do material inconsolidado do que sua reposição pelos processos de intemperismo, sendo, portanto, um tipo de erosão acelerada. O autor comenta que a erosão provocada pela ação do homem sempre se reflete como uma aceleração dos fenômenos erosivos, por isso é considerada somente como erosão acelerada, constituindo-se em um processo muito mais rápido do que a erosão acelerada natural, podendo evoluir em poucos anos e atingir áreas extensas.

Conforme Rodrigues (1982), a erosão acelerada, também conhecida por boçoroca, se desenvolve pelo escoamento da água, condicionado por fatores locais.

Como causa inicial de uma boçoroca tem-se a agressão do solo desnudo, seja pela abertura de sulcos, valas ou trilhas realizadas pelo homem ou por animais. Na seqüência deste processo, a chuva é o próximo agente erosivo que atua por meio do escoamento. Além disso, tem-se a topografia, o solo, a cobertura vegetal e o clima que contribuem para acelerar o processo (Tabela 2.5) (FENDRICH et al., 1997).

Tabela 2.5- Fatores condicionantes do processo erosivo (FENDRICH et al., 1997).

<b>Fator condicionante</b>	<b>Contribuição ao processo erosivo</b>
Fator Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- retirada da cobertura vegetal;</li> <li>- agricultura praticada com manuseio impróprio;</li> <li>- formação de pastos com alta densidade de animais, ocasionando o excessivo pisoteio;</li> <li>- abertura de valetas de forma inadequada (perpendicular às curvas de nível), a fim de proteger culturas;</li> <li>- abertura de estradas sem obras de drenagem;</li> <li>- execução de loteamentos sem obras de drenagem e controle de erosão.</li> </ul>
Fator Chuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- destacabilidade do solo desnudo pelo impacto das gotas de chuva;</li> <li>- desagregabilidade do solo superficial, pelo escoamento superficial direto;</li> <li>- desagregabilidade do subsolo e do desmonte de maciços, pelo escoamento subterrâneo;</li> <li>- capacidade transportadora da chuva, sobre o solo destacado;</li> <li>- capacidade transportadora do escoamento superficial sobre o solo desagregado;</li> </ul>

continua

	continuação
<b>Fator condicionante</b>	<b>Contribuição ao processo erosivo</b>
Fator Chuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- capacidade de provocar o deslizamento e quedas de maciços arenosos no pé dos taludes;</li> <li>- parcela de escoamento superficial excedente atua com intensidade no terreno durante alguns minutos e também ao longo dos períodos de chuva;</li> <li>- parcela do escoamento subterrâneo é menos intensiva sobre o solo, porém, atua continuamente ao longo dos períodos de seca.</li> </ul>
Fator Solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- os solos mais propícios à formação de boçorocas são os do tipo arenoso, secos e ácidos, pouco coesivos, coluviais e porosos, apresentando o horizonte A, em geral, com cor vermelha intensa, constituídos por areia muito fina, siltosa e pouca argila.</li> </ul>
Fator Topográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- as boçorocas ocorrem tanto em terrenos levemente ondulados, como naqueles de topografia acidentada. A topografia influi na sua velocidade de formação e desenvolvimento, os locais que apresentam maior densidade de drenagem, dada pela quantidade de talvegues, sulcos, valetas.</li> </ul>
Fator Clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- com base no índice de Classificação Internacional de Climas de KÖEPPEN, as regiões mais atingidas pela erosão são caracterizadas pelas classes de clima úmido, tropical quente e temperado, (Cwa e Aw) e Cfa, com inverno seco e verão chuvoso, respectivamente.</li> </ul>

### Erosão hídrica

Conforme Fendrich et al. (1997), a erosão hídrica inicia-se com o embate das gotas de chuva com o chão, desagregando as partículas do solo desnudo.

O poder erosivo da chuva é controlado basicamente pela interação do tamanho da gota da chuva, velocidade e forma, duração e espalhamento da chuva (Kirkby e Morgan, 1980 *apud* NISHIYAMA, 1995).

Segundo Lal (1990), a ação da gota de chuva ocorre em dois estágios: destacamento e transporte da partícula do solo. As partículas destacadas são transportadas pelo deslocamento causado pelo impacto físico e pelo carreamento de partículas realizado pelo escoamento superficial.

A erosão pode ser classificada quanto ao tipo de fluxo de água como erosão laminar e linear. A laminar ocorre quando o fluxo é difuso na superfície do solo e o escoamento da água não se concentra em canais definidos. Na erosão linear o fluxo é concentrado formando incisões no solo em forma de filetes ou canais carregando material inconsolidado, dando origem às feições erosivas como ravinas e boçorocas (YAMANOUTH, 2003).

Carson e Kirkby (1975) subdividem a erosão pela ação das águas de chuva em dois processos básicos: erosão pela água superficial e erosão pela água subsuperficial. No primeiro processo, é considerado o transporte causado pela colisão das gotas de chuva, a erosão por fluxo não concentrado (laminar) e a erosão por fluxo concentrado (sulcos). No segundo processo, os autores consideram o carreamento das partículas no interior do solo (através dos poros ou formação de vazios dentro do solo por arrastamento de partículas – *pipping*).

A Figura 2.2 mostra a morfologia da evolução da formação de boçorocas em três dimensões.

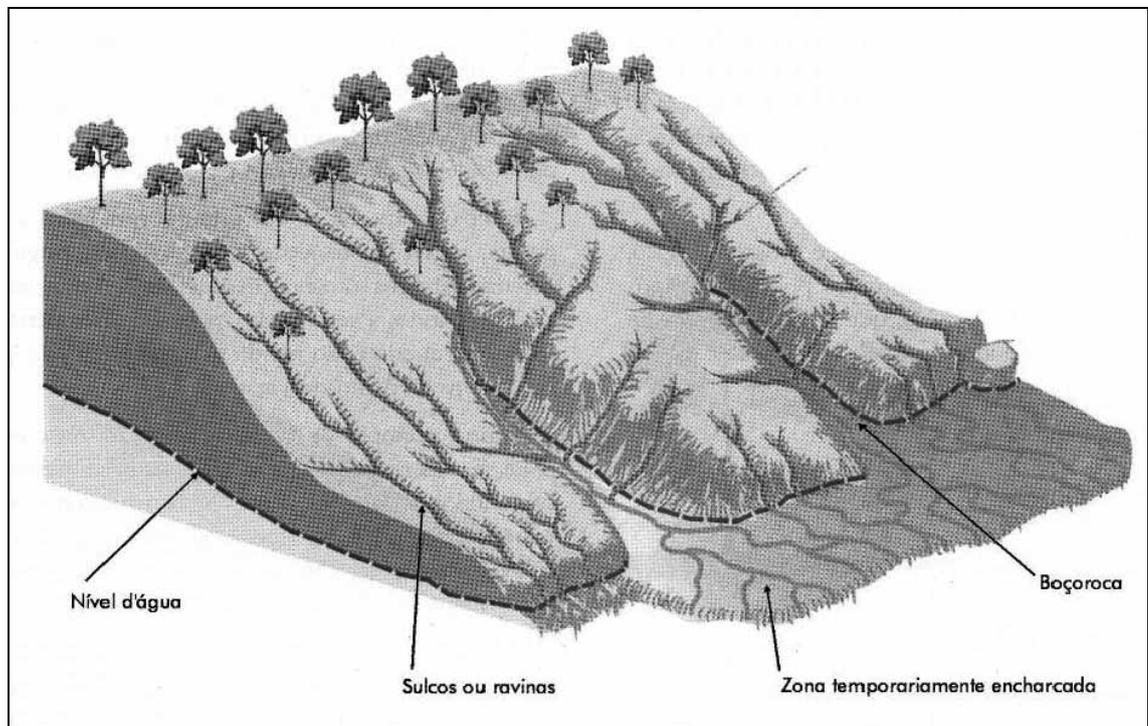


Figura 2.2: Morfologia de sulcos e boçorocas (KARMANN, 2000).

### Erosividade e Erodibilidade

Fontes (1999) comenta que no processo erosivo pela água da chuva, destacam-se duas ações fundamentais: a erosividade da chuva e a erodibilidade do solo. Conforme a autora, a erosividade da chuva representa o maior ou menor potencial que uma determinada chuva tem de erodir o terreno, e a erodibilidade do solo mostra a resistência que um solo apresenta contra a erosão.

Conforme Fendrich et al. (1997), a erodibilidade do solo é a capacidade com que o mesmo se deixa erodir, em função da composição física de sua mistura. O solo poderá ser menos ou mais erodível, dependendo da capacidade de sua textura em resistir mais

ou menos ao seu desgaste pela ação das águas, quer pelo impacto, pelo escoamento superficial, quer pelo escoamento subterrâneo.

Para Zuquette (1987) as condições do solo são denominadas de erodibilidade, ou seja, sua vulnerabilidade à erosão, sendo que tal vulnerabilidade é função das características físicas do solo e do seu uso.

Segundo Nishiyama (1995), a erosividade, ou seja, a capacidade da chuva em causar erosão do solo, é atribuída à intensidade e ao tamanho das gotas de chuva, o que determina a energia da chuva.

No estudo realizado, Kobiyama et al. (2002) analisaram a erosividade da chuva em função da altitude na região oriental do Estado do Paraná. A alta pluviosidade e o relevo acidentado determinam os desequilíbrios mais acentuados no ciclo hidrológico, o que faz com que a região tenha maior suscetibilidade à erosão hídrica. A erosividade (fator R) é um dos principais componentes dos modelos de predição de tal erosão, cujo índice está relacionado com a energia cinética da chuva.

Conforme Galvão (2003), no caso da susceptibilidade à erosão, as propriedades geotécnicas básicas mais importantes são: distribuição granulométrica, índice de vazios, estrutura do solo, parâmetros de plasticidade (limite de liquidez, limite de plasticidade) e outros específicos.

### Erosão Urbana

Segundo Fontes (1999) vários aspectos positivos e negativos ocasionaram a transferência do problema da erosão do meio agrícola para as áreas urbanas (com expressão areal muito menor). Entre os aspectos positivos tem-se a valorização das terras agricultáveis; a profissionalização; e a especialização do profissional rural e a melhoria das técnicas de manejo. Os aspectos negativos referem-se à concentração da população nas cidades; a má distribuição de renda; o planejamento urbano deturpado; a ocupação desordenada; a legislação ineficaz; e a ausência de uma política habitacional criteriosa quanto à qualidade dos terrenos.

Segundo Fendrich et al. (1997), a diferença entre as boçorocas que ocorrem em meios rurais e em meios urbanos são as seguintes:

- As boçorocas rurais se desenvolvem nas pastagens e culturas de má cobertura, sujeitas ao manejo inadequado e, na maior parte das vezes, são o produto do ravinamento iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas ou linhas de plantio. O fenômeno se manifesta quando uma dada ravina intercepta o lençol freático e se

transforma em uma boçoroca típica, com a evolução de sua seção em “V” para a seção em “U”.

- As boçorocas urbanas são ocasionadas pelo fato de que as cidades, geralmente, são implantadas em locais pouco acidentados, com o núcleo fixado no ponto mais alto da maior colina, instaladas em terrenos de baixa resistência à erosão. Estas cidades, quando não calçadas, têm o ravinamento iniciado nas próprias ruas, que são as principais adutoras das águas captadas pelos telhados, somadas ao *run off* local. Ao interceptar o lençol freático, estas ravinas se transformam em boçorocas. A urbanização funciona como toda obra que interpõe estruturas pouco permeáveis entre o solo e a chuva, fazendo com que o escoamento aumente com a diminuição da infiltração, numa mudança de regime de escoamento mais drástica do que aquela provocada pelo desmatamento no meio rural.

#### Efeitos da erosão em áreas urbanas

Conforme Fendrich et al. (1999), o homem tem se mostrado indiferente quanto à avaliação dos efeitos da erosão acelerada, mesmo após reconhecer a existência de sua extensão. Os produtos da erosão podem causar sérios problemas às estruturas hidráulicas e outras obras de engenharia, o que requer do profissional certo grau de conhecimento relativo à natureza dos processos de erosão-transporte-deposição, de modo a torná-lo capaz de prognosticar os efeitos provenientes das mudanças que possam ocorrer, bem como, estabelecer medidas adequadas de proteção.

Na zona urbana, greides de ruas abaixam quase 1 m em conseqüência de uma única chuva intensa. Boçorocas, com profundidades que atingem até 40 m, no seu movimento contrário ao sentido das águas e em direção à cidade, progridem de forma acelerada em decorrência de precipitações pluviais. A observação local tem evidenciado os danos que tem ocorrido não apenas em imóveis, mas também em toda a infraestrutura representada pelas obras de redes de água, esgoto, telefone, eletricidade, drenagem pluvial e pavimentação que, geralmente, exigem recursos para a sua reconstrução (FENDRICH et al., 1997).

Na Bacia Litorânea do Paraná o processo pluviométrico é mais intenso do que no restante do estado, e o relevo acidentado determina a esta região desequilíbrios mais acentuados no ciclo hidrológico, pois o processo chuva-vazão é violentamente rápido e intenso. Este fenômeno acelera o mau planejamento e gerenciamento da região, repercutindo em erosões, em níveis catastróficos, deterioração da qualidade da água em

rios e baías. No estudo realizado por Minella et al. (2002) a erosão foi determinada simulando os fatores intervenientes da erosão (erodibilidade (R), erosividade (K), comprimento de rampa (L), declividade (S) e uso e manejo (C)), com o uso da rotina de cálculo da RUSLE simulada em um SIG (*ArcView*). Para cada fator que interfere na predição da erosão foi desenvolvido um banco de dados e um mapa. Nestes mapas cada pixel (30x30m) apresenta o valor correspondente ao fator que ele representa. Com este banco de dados organizado pode-se simular a perda de solo para cada pixel, através da sobreposição e multiplicação destes mapas. Os valores gerados representam espacialmente distribuídas as perdas de solo na bacia. Os valores de cada pixel foram somados para determinar a quantidade total de sedimentos produzidos dentro da bacia e as porcentagens relativas a cada intervalo de perdas de solo. Também foi calculado o valor de denudação, considerando a densidade do solo  $1,5 \text{ ton.m}^{-3}$ , que corresponde a camada média de solo perdida por ano.

O problema da erosão foi agravado pelo rápido crescimento da população e ocupação inadequada e, portanto, seu controle e prevenção dependem do adequado planejamento de desenvolvimento urbano, como por exemplo, a limitação e restrição no uso da terra, fator que pode envolver assuntos de caráter político ou jurídico, tanto quanto dependentes de critérios técnicos (FENDRICH et al., 1997).

Em áreas susceptíveis à erosão, é sugerido adotar as seguintes medidas de prevenção (GRAY E SOTIR, 1996):

- Evitar a remoção da vegetação nativa, sempre que possível;
- Evitar revolvimento extensivo do solo;
- Instalar sistema de drenagem para evitar um aumento do escoamento superficial;
- Manter as velocidades de fluxo de água baixas;
- Proteger as áreas destituídas de vegetação com mulches e/ou outra cobertura vegetal de crescimento rápido;
- Construir sistema de drenagem e bermas para interceptar águas de taludes íngremes e das áreas destituídas de vegetação;
- Construir bacias de sedimentação para prevenir que o solo desagregado se movimente para fora da área.

#### **2.5.1.1.2. Disposição inadequada de resíduos sólidos no solo**

Nos dias atuais, é difícil para todos ignorar o problema que os resíduos sólidos urbanos acarretam ao meio ambiente. A sociedade tem o conhecimento de que a

natureza digere cada tipo de poluente num determinado tempo. Entretanto, enquanto alguns poluentes são rapidamente degradados, outros podem sujar o ambiente por muitos séculos (MMA, 2000).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, conduzida por IBGE (2000), apenas 33% dos municípios brasileiros, coletam 100% dos resíduos domiciliares gerados nas residências urbanas de seus territórios. De acordo com a mesma pesquisa do IBGE são coletadas diariamente, em todo o país, 228.413 toneladas sendo 11.067,1 t/dia na Região Norte, 41.557,8 t/dia na Região Nordeste, 141.616,8 t/dia na Região Sudeste, 19.874,8 t/dia na Região Sul e 14.296,5 t/dia na Região Centro-Oeste. Desse total coletado de resíduos domiciliares urbanos cerca de 20% é disposto de maneira inadequada em vazadouros a céu aberto, aproximadamente 3% são enviados para unidades de compostagem e a incineração é o destino de quase 0,5%. Para os aterros são destinados aproximadamente 73% do total coletado de resíduos domiciliares urbanos.

O estudo realizado por Oliveira (1997) mostra que aproximadamente 1.300 t/dia de resíduos sólidos da região metropolitana de Belém são depositados precariamente num depósito a céu aberto, conhecido como “lixão do Aurá”, constituindo uma fonte pontual e permanente de poluentes que oferecem riscos à saúde pública e ao sistema ecológico. De acordo com os resultados obtidos, pode-se perceber que existe a presença de metais pesados, nocivos à saúde, na área do lixão, provenientes da degradação do lixo e esses elementos estão contaminando os rios e igarapés da área. Ressalta-se assim a importância de ter um tratamento correto junto aos depósitos de lixo, para que esses elementos não contaminem o meio ambiente e assim causem danos à sociedade.

Na Figura 2.3 tem-se o percentual de localidades que possui serviços de limpeza urbana por unidades de destinação final de lixo coletado, segundo as Grandes regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais (Brasil). Pode-se observar que as administrações municipais concentram-se na destinação final dos resíduos últimos (a percentagem de deposição dos resíduos a céu aberto é igual a 71,5%) e não na prevenção da poluição gerada pelos mesmos.

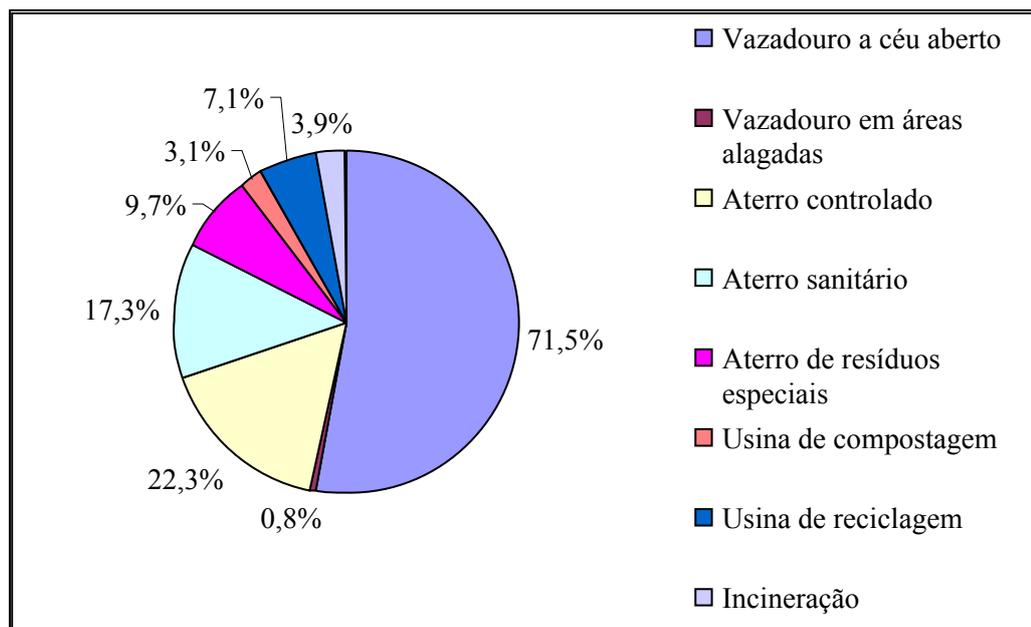


Figura 2.3: Percentual de distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo por unidades de destinação final de lixo coletado, segundo as Grandes regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais (Brasil).  
Fonte: IBGE (2000), modificado.

Com isso, a disposição de grande quantidade de resíduos sólidos ainda ocorre em lixões. “O lixão é um local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É a descarga de resíduos a céu aberto” (MMA, 2000).

Segundo Zuquette (1991), as principais causas da disposição inadequada de resíduos são:

- Falta de conhecimento regional das características do meio físico e do meio ambiente como um todo;
- Não caracterização e separação dos tipos de resíduos;
- Falta de bases mais reais das normas existentes no Brasil para escolha dos locais;
- Baixo índice de estudos em aterros existentes ou experimentais;
- Falta de fiscalização pelos órgãos públicos e punição aos responsáveis pela disposição inadequada dos resíduos.

Segundo MMA (2000), os problemas acarretados à saúde pública são: proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas

através do chorume (líquido de cor preta, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo), comprometendo os recursos hídricos. Também se acrescenta o descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se, até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias. Comumente, os lixões estão associados a fatos altamente insalubres, como a criação de porcos e a existência de catadores (que, muitas vezes, residem no próprio local).

Conforme Collares (2000), a disposição inadequada pode gerar tanto problemas de contaminação, quanto aceleração nos processos do meio físico (Tabela 2.6). Os principais fatores que conduzem a estes problemas são os seguintes:

- imperfeito conhecimento das características do meio físico (rocha, solo, água, etc.) e dos resíduos ali dispostos, resultando em projeto inadequado;
- negligência no monitoramento das condições ambientais e operacionais do aterro;
- sobrecarga da capacidade inicial do projeto, no intento de prolongar sua utilização.

Tabela 2.6- Problemas gerados devido à disposição inadequada de resíduos. (Cunha e Consoni *apud* COLLARES, 2000).

<b>Tipo</b>	<b>Origem</b>	<b>Causas</b>
Contaminação das águas subterrâneas	- falha na impermeabilização de base (aterro/ lagoa de tratamento de chorume)	- impermeabilização (solo/ manta) incompatível com os percolados; - má compactação.
	- recalques (aterro/ lagoa de tratamento de chorume)	- solo natural com propriedade inadequada; - recalques devido às alterações (carga, aumento da umidade, agressão ao solo, etc.)
	- elevação do nível d'água acima da base do aterro	- dados insuficientes (nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc.); - mal dimensionamento do sistema de drenagem.
Potencialização de processos do meio físico	- escorregamentos e erosão	- cortes em altos ângulos nas encostas; - cortes contra a foliação ou fraturamentos; - alterações na vegetação marginal; - deficiências de compactação dos aterros e resíduos dispostos.
	- assoreamentos	- erosão dos cortes (solo de fácil alteração/ instabilização); - carreamentos devido à deficiência na drenagem superficial; - desvegetação/ alterações nas áreas marginais.

Conforme Zeitouni (2001), o maior problema que se apresenta para a Prefeitura do Município de São Paulo é o tratamento do líquido percolado produzido nos aterros

(Figura 2.4). Considerando os processos já conhecidos, a Prefeitura do Município de São Paulo implantou e experimentou quase todas as técnicas disponíveis para tratamento do chorume: lagoas de estabilização, aeradores nas lagoas, executou uma usina piloto para tratamento pelo método biológico, testou a osmose reversa, etc. No momento, os aterros possuem lagoas de estabilização que procuram dar um pré-tratamento aeróbio. Mas como a estabilização demanda tempo e a vazão é contínua, isso requer áreas de lagoas que nos aterros acabam sendo escassas. A opção é o transporte do chorume para as Estações de Tratamento de Esgoto da Empresa de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.



Figura 2.4: Fotografia aérea de um aterro sanitário em São Paulo. Fonte: Zeitouni (2001)

O Aterro Sanitário é considerado uma obra de engenharia. Sua vida útil é determinada por vários condicionantes, tendo como principais, a área de implantação, o relevo e o material a ser depositado. Entretanto, muitos problemas podem surgir da má construção desses aterros, como a lixiviação do chorume gerado para fora da região isolada, percolando através do solo, podendo atingir o lençol freático, além da contaminação do ar gerada pela emissão de gases, etc. (ZEITOUNI, 2001).

A falta de preocupação com as formas de disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos ao longo dos tempos reflete hoje em uma poluição ambiental praticamente irreversível, em várias partes do mundo. Sendo este, não apenas um problema ambiental, mas político e social, as questões referentes ao tratamento de resíduos sólidos urbanos devem ser estudadas de forma interdisciplinar, buscando

sempre alternativas que sejam economicamente aplicáveis e que vão de encontro às necessidades da comunidade, porém, buscando o impacto mínimo ao meio ambiente.

Conforme Sanches (1989), a preocupação com a desativação dos empreendimentos de disposição de resíduos sólidos urbanos ou industriais também é de grande importância, pois, assim como uma mina, um aterro de resíduos também tem uma vida útil determinada. Porém, a utilização do aterro para outros fins deve ser planejada previamente ao início de sua vida útil. No entanto, essa mudança de uso requer que seja tomada uma série de providências para assegurar a estabilidade física da área, evitar que ela funcione como um foco de disseminação de poluentes no meio e ainda assegurar um ambiente saudável para o futuro.

### **2.5.1.1.3. Mineração**

O desenvolvimento da atividade mineral no contexto urbano tem estabelecido uma série de relações com outras formas de uso do solo circunvizinhas (habitação, indústria, conservação ambiental, horticultura, lazer, recreação, etc.). No entanto, essas relações têm ocorrido de maneira conflituosa, na maioria das vezes, em função da disputa pelo espaço urbano.

Di Filippo et al. (1996), em estudo sobre as pedreiras abandonadas, realizam uma análise da literatura científica e dos dados de levantamento aéreo, passando depois, às verificações do terreno (levantamento morfológico, geológico-geotécnico). No estudo, os autores levantam como efeitos permanentes causados pela atividade: a alteração no equilíbrio de componentes ambientais, como hidrológico, hidrogeológico, estabilidade de taludes, paisagem e vegetação, os quais continuam presentes depois do abandono da pedreira.

Mascarenhas (1989) classifica as fontes de impacto em atividades minerárias, conforme o tipo de lavra e o tipo de minério:

A) Conforme o tipo de lavra:

- Céu aberto: é o tipo de lavra que gera maior impacto; produz grande quantidade de estéril, além de poeira, ruído, vibrações e poluição das águas.
- Subterrânea: o impacto é menor; o estéril pode ser jogado nas próprias galerias abandonadas, os efluentes líquidos surgentes são pontuais, o mesmo ocorre com a poeira, os ruídos e a vibração.
- Dragagem: é potencialmente poluidora; o revolvimento do leito dos rios e áreas vizinhas provoca turbidez e sólidos em suspensão. Há também poluição química devido

à utilização de produtos químicos no beneficiamento (ex: mercúrio e cianeto na mineração de ouro).

B) Conforme o tipo de minério:

- Minérios utilizados na construção civil: são geralmente pedreiras localizadas próximas aos centros urbanos; causam problema principalmente na ocasião das detonações e britagem, acarretando poluição devido ao pó, vibração e ruído.

- Metálicos: geralmente, para obtenção de concentrado, mais de 90% do *run ofmine* é liberado como rejeito em forma de lama fina, contaminada com reagentes químicos e orgânicos. Muitas vezes libera também SO<sub>2</sub> na atmosfera, o que provoca chuvas ácidas.

- Ferrosos: liberam, geralmente, grande quantidade de estéril, devido ao decapeamento. O minério é submetido a diversos processos de beneficiamento que geram poluição (pó, ruídos, vibrações, etc.). O rejeito é lançado na fase líquida em barragens de decantação.

- Carvão: quando a céu aberto, abrange grandes áreas e causa poluição no ar e água. Quando subterrânea, pode liberar efluentes ácidos, gerar combustão e também estar sujeita à subsidência.

Conforme Bitar (1997), as principais alterações ambientais causadas pela mineração na Região Metropolitana de São Paulo podem ser resumidas em: supressão de áreas de vegetação; reconfiguração de superfícies topográficas; impacto visual; aceleração de processos erosivos; indução de escorregamentos; modificação de cursos d'água; aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão em corpos d'água receptores; assoreamento e entulhamento de cursos d'água; interceptação do lençol freático com rebaixamento ou elevação do nível da base local; mudanças na dinâmica de movimentação das águas subterrâneas; inundações a jusante; aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar; aumento de ruídos; lançamento de fragmentos rochosos à distância; sobrepressão do ar; e propagações de vibração do solo.

Os diferentes tipos de uso do solo, circunvizinhos a essas alterações, são afetados pelas mesmas gerando situações de risco com as seguintes conseqüências: danos às fundações de habitações, edificações industriais e comerciais diversas, linhas de transmissão, ruas, estradas e outros usos próximos à mineração; insalubridade e riscos decorrentes do lançamento de resíduos em lagos abandonados e, neste contexto, acidentes de quedas ou afogamento, especialmente com crianças; aumento da vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos com prejuízos à captação em poços e cacimbas nas proximidades; perda da qualidade das águas situadas à jusante e utilizadas como mananciais para abastecimento público; perda da qualidade do ar; vítimas ou

danos decorrentes do ultralancamento de fragmentos rochosos; incômodos às pessoas e danos às habitações e outras edificações causados pela propagação de vibrações no solo e pela sobrepressão atmosférica (BITAR, 1997).

A Bacia do Rio Itajaí-Mirim - SC, ao longo dos 9 municípios que constituem esta drenagem, possui 48 diferentes tipos de atividades minerárias cadastradas no Departamento Nacional de Pesquisas Minerais - DNPM, do Ministério de Minas e Energia, conforme estudo feito por Telles e Beaumord (2002). Neste estudo foi realizado levantamento, identificação, localização e classificação das atividades minerárias encontradas ao longo da Bacia do Rio Itajaí-Mirim. A conclusão obtida é que, devido às características de exploração observadas, todas estas atividades podem comprometer a qualidade das águas dos corpos d'água, uma vez que fornecem grandes quantidades de materiais finos. A exploração de ouro é preocupante uma vez que envolve a utilização de mercúrio no processo de garimpo.

O estudo de Nalini Jr. e Castro (2002) mostra que a confecção de modelos geoambientais dos depósitos minerais permite o melhor entendimento, a antecipação, a minimização e, em muitos casos, a remediação, mesmo que parcial, dos impactos causados pela indústria mineral. Paralelamente, a partir dos resultados obtidos, tem-se o aumento do grau de conhecimento dos problemas ambientais regionais tão necessário para a boa gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e para a manutenção de condições ambientais adequadas à qualidade de vida. Esta é uma forma de se alcançar uma maneira sustentável de se prosseguir com as atividades de extração e transformação mineral, mantendo-se a integridade do meio ambiente.

Na cidade de Itabira-MG, onde está situada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), as jazidas minerais localizam-se no entorno ou imbricadas no sítio urbano. O processo de extração mineral a céu aberto, numa extensão de cerca de 15 km no sentido norte-sudoeste, feito em bancadas de cerca de 10 a 15 m, movimenta grande volume de solo "estéril" e de minério fino. O espaço urbano fica sujeito aos efeitos externos do uso de explosivos nas minas, intenso processo de poluição aérea, hídrica e do solo. Os taludes e as cavas resultantes do processo de extração mineral degradam a paisagem da cidade. Algumas cavas servem de local de deposição de rejeito, os vales à jusante da mineração estão assoreados, o que os torna impróprios para a agricultura. Este quadro refletiu na conscientização ambiental da população que se encontra mais organizada, contando como o apoio do Ministério Público, o qual tem atuado com firmeza em

relação à cobrança do cumprimento das leis ambientais pela mineradora. Porém a situação de vulnerabilidade ainda persiste na cidade (SILVA e SOUZA, 2002).

Conforme Sanches (1989), entre os efeitos e impactos gerados pelas minerações em áreas urbanas, têm-se: o efeito vibrações, cujo impacto seria o dano às estruturas civis e o incômodo ocasionado às populações que moram em torno da pedreira. O autor aponta como solução o planejamento da lavra, ou seja, a localização e o direcionamento das frentes de lavra. No caso do desmatamento, que pode causar impactos sobre a fauna, a melhor solução seria a minimização do desmatamento, escolha criteriosa do local de deposição de estéreis, localização das instalações industriais e a revegetação das áreas à medida que elas forem sendo liberadas da atividade.

Cabral (1989) comenta a respeito da exploração de areia em rios próximos à cidade do Rio de Janeiro, onde são instaladas dragas ou escavações e a areia é retirada. O resultado observado é o abandono de diversas áreas em que foi realizada a extração sem nenhum cuidado, formação de lagos artificiais provocados pela mineração, onde plantas aquáticas cobrem a superfície, ocasionando acidentes e tornando-se ponto de proliferação de mosquitos.

Segundo Bauer (1989), a extração de recursos minerais pode ser organizada de forma que a operação de mineração se torne uma operação de conformação do solo, e para isso têm-se cinco condições básicas que precisam existir: a atividade de mineração deve ser seriamente considerada pelos planejadores da atividade; é essencial que as companhias mineradoras tenham um compromisso com essa atividade de recuperação do solo e de reconformação do terreno; é necessário obter dados (ambientais, estruturais, etc.) atualizados da área de implantação da atividade; o planejamento deve começar antes do início das operações de mineração; a recuperação e a remodelação do terreno têm que ocorrer e ser conduzidas em seqüência e como parte integrante da operação de mineração.

Weissberg (1989) comenta a respeito das alterações causadas ao meio ambiente pela implantação de atividades de exploração de minérios no interior da Floresta Amazônica, cuja empresa responsável pelo projeto (Ferro Carajás) é a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Este projeto foi instalado para explorar o minério de ferro dentre outros minérios que ocorrem na região, o qual atraiu muitos moradores da região, além das pessoas que já estavam na Amazônia em busca de ouro. O resultado dessa invasão observado pela autora foi a modificação da paisagem e do equilíbrio de um ecossistema, muitas árvores davam lugar às moradias coletivas e residências isoladas, estradas e

taludes já estavam em vias de revegetação, e a vegetação própria do local já estava parcialmente retirada sendo substituída pela infra-estrutura de apoio a mineração. Quanto aos garimpeiros, estes se instalaram em pontos ainda intactos, arrasando o leito dos rios e deixando um rastro de destruição da floresta. Esta destruição ambiental descontrolada exigiu sérias medidas mitigadoras de impactos ambientais para que o desenvolvimento do projeto não se visse prejudicado.

Weissberg (1995) estudou as áreas mineradas na região de Poços de Caldas a fim de identificar os procedimentos com maior sucesso na reabilitação destas áreas, as quais estão distribuídas por toda paisagem e o tipo de lavra à céu aberto modifica o relevo localmente para retirada dos bolsões de bauxita. As superfícies das áreas pós-mineradas, desmatadas e decapeadas, ficam sem solo e obviamente sem vegetação e com um relevo bastante irregular. A importância da reabilitação de áreas mineradas reside não somente na fixação da vegetação, mas também no desenvolvimento pedológico dos materiais. Os solos assim desenvolvidos passam a reduzir a atividade das águas de chuva tanto na erosão como na dissolução de elementos ou substâncias tóxicas existentes nos materiais descartados pela mineração. De modo geral, conforme a autora, a reabilitação dos solos recompõe a paisagem profundamente modificada pela mineração e protege os recursos hídrico de substâncias ou íons tóxicos, evitando problemas para a vegetação e para os demais consumidores.

Segundo Sanches (1989), as minas abandonadas ou inativas são fontes de diversos problemas. Há riscos à segurança das pessoas que transitam por certas áreas mineradas, riscos devido à duvidosa estabilidade de estruturas como barragens de rejeitos, pilhas de estéril e pilares de minas subterrâneas. No caso de minas subterrâneas, quando planejado desde a abertura da mina, e as escavações se auto-sustentam, elas têm sido reutilizadas para diferentes finalidades pós-mineração, tais como disposição de resíduos industriais e radioativos, armazenamento de documentos, escritórios, depósitos de automóveis e barcos.

## **2.6. Atividades de Recuperação de Áreas Degradadas**

Quanto à recuperação, em função das diversas áreas de conhecimento atuantes na questão, tem-se como resultado a utilização dos respectivos conceitos para as aplicações variadas. Dentro do contexto do meio físico, a mais adequada é a utilizada em ABNT (1989), onde é feita distinção entre os seguintes termos:

- *Restauração*: “associado à idéia de reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção”;
- *Recuperação*: “associado à idéia de que o local alterado seja trabalhado de modo a que as condições ambientais acabem se situando próximas às condições anteriores à intervenção, ou seja, trata-se de devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade dos processos ambientais ali atuantes anteriormente”;
- *Reabilitação*: “associado à idéia de que o local alterado deverá ser destinado a uma dada forma de uso do solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, trata-se de reaproveitar a área para outra finalidade”.

As citações do Decreto Federal 97.632/89 levam em conta o objetivo da recuperação, que é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”. Este conceito é mais abrangente, pois incorpora o conceito de reabilitação ao de recuperação, sendo o mais empregado.

Conforme Bitar (1997), a recuperação de áreas degradadas tem envolvido abordagens interdisciplinares, reunindo e integrando o conhecimento de diferentes campos do conhecimento humano. Os procedimentos e atividades que envolvem a recuperação de áreas degradadas por mineração têm variado de acordo com cada caso ou experiência realizada. De uma maneira geral, a partir da identificação e avaliação preliminar de uma área degradada (incluindo eventuais medidas emergenciais necessárias), compreende basicamente o planejamento da recuperação (incluindo, se necessário, uma avaliação mais detalhada e completa da degradação), execução do plano de recuperação elaborado e a realização do monitoramento e manutenção das medidas implementadas.

Disperati (1998) diz que qualquer proposta de recuperação de áreas degradadas, seja ela motivada por atividades agropecuárias, de mineração, de urbanização e de execução de obras diversas para construção de barragens e estradas, envolve aspectos de inventário, planejamento e execução. O inventário refere-se à coleta de informações sobre o que existe no local. Na etapa do planejamento, tendo-se disponíveis as informações na forma de mapas, tabelas e relatórios, são elaborados os projetos referentes à recuperação da área degradada. Sendo os projetos executados, torna-se necessário realizar a avaliação periódica dos mesmos, chamada de monitoramento.

Zuquette et al. (1994) desenvolveram estudo sobre os problemas relacionados à recuperação e à ocupação de pedreiras desativadas na cidade de Ribeirão Preto - SP. Os locais de exploração desativados na área urbana e de expansão encontravam-se nas seguintes condições: abandono; ocupados com construções, sem qualquer processo de recuperação ou proteção; ocupados após processo de aterro com entulhos; ocupados com depósitos de areias, britas e outros materiais, ou por favelas e outras formas de ocupação. Os problemas decorrentes da ocupação inadequada, identificados pelos autores foram: o rompimento de taludes, a concentração de águas, aterros sofrendo recalques e rolamento de matacões. Com isso, os autores concluíram que, para qualquer processo de continuidade para as áreas desativadas e em exploração é necessário considerar os movimentos de águas no talude e no fundo da cava, a estabilidade e proteção dos taludes, a fonte de material inconsolidado (solo) e mudas para recuperar a vegetação destruída, o sistema de drenagem e impermeabilização da zona ao redor e do fundo da cava, evitar o uso de qualquer tipo de aterro sem controle tecnológico, possibilidade de uso como depósitos de peças, materiais não degradáveis e parques esportivos e possibilidade de continuar a exploração da jazida em curto e médio prazo.

Santos (1991) avaliou o projeto de reflorestamento das encostas do Morro São José Operário – RJ, cujo objetivo foi devolver a estabilidade às mesmas. A área sofria as conseqüências da exploração do granito, que alterou as características da encosta através de escavações e cortes para a construção de estradas desprovidas de sistema de drenagem, o que desencadeou intenso processo erosivo e, com isso, o descalçamento de grandes blocos rochosos. A degradação acelerada que o local vinha sofrendo tornou necessário combinar técnicas civis de contenção de encostas, drenagem de águas pluviais com medidas biológicas e reflorestamento, a fim de obter resultados satisfatórios a curto, médio e longo prazo. Quanto aos resultados obtidos a autora observou que houve redução no processo erosivo, traduzida na diminuição do volume de sedimentos carregados por fortes chuvas.

Carvalho (2003) realizou estudo com o objetivo de diagnosticar a situação ambiental da micro-bacia da Lagoa Verde, no município de Lagoa da Prata-MG, de modo a permitir a proposição de soluções para os principais problemas encontrados. Tais problemas referiram-se ao lançamento de esgotos e resíduos industriais; águas de enxurradas que arrastam materiais depositados na superfície do solo; águas de infiltração de chuvas que podem conduzir sais minerais, inseticidas, e outros compostos solúveis orgânicos e inorgânicos; infiltração de águas procedentes de lançamento

superficial conduzindo materiais em solução ou em suspensão, inclusive microrganismos patogênicos; lançamentos diretos de detritos de clubes, piqueniques, embarcações, etc.; levantamento de matérias sólidas do leito do reservatório, causado por turbulência provocada por fenômenos naturais, dragas de extração de areia, etc. Como sugestão de recuperação, a autora propôs a recomposição da mata ciliar na margem da Lagoa, nas margens das nascentes e nas margens dos córregos que compõem a micro-bacia; a proteção das áreas de recarga de aquíferos; instalação de um programa de gerenciamento e monitoramento no controle das águas que fazem parte da micro-bacia; implantação de estação de tratamento de esgoto doméstico; implantação de tratamento de águas residuárias de indústrias; implantação de aterro sanitário; controle e monitoramento do fósforo e nitrogênio utilizados na agricultura; controle das partículas de solo, de modo a minimizar o processo de assoreamento.

Segundo o estudo de Leite et al. (2002), no semi-árido mineiro é observada a redução progressiva da descarga média dos rios nas últimas décadas, apresentando grave quadro de degradação ambiental, evidenciado principalmente pela erosão, tanto laminar como em canais, especialmente na área da formação Salinas. Os autores concluíram que para reverter os processos de degradação e recuperar o fluxo de base do córrego serão necessárias intervenções como: a construção de diques de retenção, a serem construídos nos canais das grotas ou mesmo do córrego, com o objetivo de reter parte da água da chuva; estruturas para recarga artificial, como, por exemplo, os tanques de infiltração; replantio e o cercamento de áreas desmatadas nas encostas íngremes, a fim de recompor a vegetação natural; criação de uma APA Municipal e, é claro, educação ambiental, pois as intervenções não terão o sucesso desejado sem o engajamento da população local.

A bioengenharia de solos é uma das formas de recuperar a qualidade do solo, e consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos. Esses elementos podem ser vegetação, conjugados a elementos inertes (representados por rochas, concreto, madeira, ligas metálicas, polímeros naturais e sintéticos, e geotêxteis dentre outros) (Krüedener *apud* SCHIELTZ e STERN, 1996).

Para Galvão (2003), a recuperação de áreas degradadas utilizando-se técnicas de bioengenharia apresenta as vantagens listadas abaixo:

- Requer-se mais mão-de-obra, de menor qualificação técnica, e menos maquinário. O custo final de implantação pode ser menor. Assim, pode-se ter uma maior relação entre custo e benefício.

- São utilizados, na maioria das vezes, materiais naturais e locais, como madeira, pedras, composto orgânico, dentre outros, que reduzem os custos de transporte, além de gerarem benefícios locais.
- De modo geral, há uma redução em erodibilidade de solos e em escorregamentos, devido à interceptação do impacto das gotas de chuva.
- O aumento da área verde reduz o impacto visual.
- Há aumento da infiltração, com conseqüente diminuição da área impermeabilizada, não sobrecarregando o sistema de drenagem.
- Diminuição da umidade e das poro-pressões, com subseqüente aumento da estabilidade.
- Há aumento da coesão aparente, devido à presença de raízes.
- Pode ser executada em locais de difícil acesso.

Conforme Galvão (2003) devem ser implementadas medidas preventivas baseadas em informações científicas, que estabelecem o potencial de risco ambiental no uso e ocupação do solo. Neste sentido, a cartografia geotécnica tem sido utilizada como ferramenta muito eficiente, na disponibilização de informações essenciais que possam compatibilizar o uso e ocupação do solo às suas limitações e potencialidades. Para o estabelecimento correto das classes de risco, é importante que dados reais advindos de medidas diretas de parâmetros geotécnicos de solos sejam usados em detrimento da estimativa dos mesmos através de dados empíricos.

## **2.7. Mapeamento Geotécnico e Planejamento Urbano**

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta fundamental para as mais diversas atividades antrópicas capazes de modificar o meio físico. Zuquette (1987) enfatiza que os mapeamentos geotécnicos podem ser usados como fontes de informação para o planejamento regional e urbano e como instrumento de fiscalização.

O mapeamento geotécnico é descrito por Bastos e Souza (1996) como uma ferramenta importante ao planejamento urbano e à implantação de qualquer obra de engenharia que evidencie as diversas características ambientais, principalmente as ocorrências dos diferentes solos.

Para Hoosbeek et al. (1998), o mapeamento dos vários tipos de degradação, obviamente, não pode ser realizado seguindo um único modelo. Os objetivos na escolha do método de mapeamento são: encontrar as necessidades do usuário; maximizar a eficiência da visualização, minimizando custos. No entanto, tanto os métodos

qualitativos quanto os quantitativos, têm vantagens e limitações relativas a estes objetivos.

As informações sobre as características geológico-geotécnicas e limitações do meio físico à ocupação, contidas nas cartas geotécnicas, servem de base para a determinação do uso adequado do solo, conforme Sturaro (1994). O exemplo de maior relevância corresponde ao papel exercido pela geologia na elaboração do Plano Diretor do Município.

Segundo Hanser (2002), as experiências mais recentes têm demonstrado que o levantamento aerofotogramétrico, a confecção de ortofotos e mapas digitais associados à banco de dados, todos facilmente compreensíveis e assimiláveis, são elementos necessários à fixação das diretrizes do Plano Diretor por profissionais de várias áreas que participam das discussões. Com isso, é possível agilizar o processo de identificação de áreas de preservação, áreas de risco, relevo e vazios urbanos. Também podem ser mais rapidamente definidos os locais adequados para os assentamentos, além do sistema viário poder ser melhor dimensionado, indicando a direção e de que forma a cidade pode se desenvolver.

Conforme Mendes (2001), a grande utilidade do mapeamento geotécnico está em fornecer informações essenciais ao planejamento urbano e regional, tais como: seleção do melhor ambiente para instalação urbana; seleção da área mais apropriada à expansão urbana; contribuição na obtenção de um plano urbano e regional que respeite e proteja o ambiente de forma econômica; conhecimento prévio da assistência técnica específica durante as fases de projeto, construção e desenvolvimento de uma cidade ou região.

Mendes (2001) destaca ainda, que o grande valor do mapeamento geotécnico está no prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e de fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas possam ser aproveitados efetivamente em ações disciplinadoras do uso do solo e mesmo em ações preventivas de defesa civil.

Segundo Pejon (1987), a realização do mapeamento geológico-geotécnico em várias escalas torna-se um documento de grande importância para fornecer informações sobre o meio físico ao planejador. Ainda, segundo o autor, os dados que devem constar em tais mapas dizem respeito a estudos das rochas e solos da região, tanto sob o aspecto qualitativo como quantitativo, dependendo da escala em que está sendo realizado, sendo que os mapas em escalas maiores devem conter mais informações de caráter

quantitativo. Mesmo em escalas detalhadas, os mapas geotécnicos têm sempre um caráter orientativo, nunca dispensando os estudos locais quando da implantação das obras.

Geralmente os documentos cartográficos tais como mapas e cartas geotécnicas visando planejamento urbano e regional se concentram em assuntos diversos, como, por exemplo, (LIPORACI, 1994): 1) recursos potenciais dos minerais e água; 2) potencial dos terrenos para os mais variados usos; 3) perigos que possam ser encontrados nos terrenos e riscos a que estão sujeitos certos tipos de desenvolvimento; 4) adequabilidade dos terrenos para vários tipos de desenvolvimento; 5) custos relativos ao desenvolvimento em terrenos distintos e/ou diferentes; 6) a vulnerabilidade do solo aos efeitos adversos; 7) os tipos de investigações locais necessárias e o detalhe requerido em cada situação de terreno, antes de se formular sensíveis e seguras propostas de desenvolvimentos.

Bortolucci (1983) propõe um mapeamento geotécnico de sub-superfície na cidade de São Carlos (SP) baseado em sondagens de simples reconhecimento associado às características litológicas das formações geológicas e de ensaios de laboratório no sentido de contribuir para um melhor conhecimento geológico-geotécnico dos solos responsáveis pelo suporte de praticamente todas as obras civis da cidade visando caracterizar e mapear, geotecnicamente, o subsolo da cidade de São Carlos. Este trabalho foi baseado em mais de 400 furos de sondagens, totalizando aproximadamente 7.000 metros lineares perfurados, distribuídos em 105 locais de obras da cidade.

Zuquette (1987) afirma que o mapeamento geotécnico é um processo de análise dos componentes do meio físico, tendo por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico (geológico, hidrogeológico, etc.).

Segundo Maciel Filho (1997) existem muitas maneiras de apresentar um mapa geotécnico, como mostrado a seguir:

- Cartas de fatores e cartas de aptidões:

As cartas de fatores (ou analíticas) caracterizam-se pela representação de um ou mais fatores significativos de um determinado tipo de estudo. As cartas de aptidões (ou sintéticas) representam a síntese, em termos de utilização, dos diversos fatores.

Segundo Sanejouand, citado por Zuquette (1987), as cartas de aptidão são realizadas para uma ocupação específica ou para representar as condições de um único problema, tais como de fundações, de rejeitos sépticos, de estradas, de materiais de

construção, de construções residenciais e industriais, etc. Devem ser apresentadas em termos qualitativos (bom, médio etc.), possibilitando aos usuários o entendimento necessário; ou em termos de técnicas a serem empregadas em cada unidade definida. Esse tipo de carta exige que inicialmente seja realizada a seleção dos atributos, os quais deverão ser analisados para o fim proposto; em seguida, procede-se à superposição simples e obtêm-se as unidades com auxílio dos processos de transformação. É necessário que a definição das unidades seja encarada com bom senso, em função de que a análise pode indicar a existência de áreas inadequadas para o fim desejado por deficiência de todos os atributos. Neste caso, devem constar no rodapé do mapa os limites dos intervalos de cada atributo que foi considerado.

O produto final da cartografia geológico-geotécnica pode ser um conjunto de vários mapas de fatores e aptidões, associados a uma carta de documentação. Essa carta reflete o grau de conhecimento geológico e geotécnico sobre a área em questão, e sua importância é primordial em estudos de planejamento territorial e urbano.

- Cartas de recomendações de uso do solo

Acompanhando o documento final, a Carta de Recomendação de Uso do Solo apresenta a melhor utilização do meio frente ao panorama geológico geral da área em estudo (SEIGNEMARTIN E FÚLFARO, 1981).

Em Maciel Filho (1997), o mapa para o planejamento do uso do solo separa as áreas em adequadas, adequadas com restrições e inadequadas (inundáveis, com declividades superiores a 30%, de solos instáveis e de afloramentos rochosos).

Carvalho (1987) apresenta a carta geotécnica de Ouro Preto. Em função de a área possuir intensa influência humana devido à mineração e urbanização, os problemas geotécnicos enfocados são, basicamente, os de estabilidades das encostas. A carta de risco permite a divisão em áreas com as seguintes classes e recomendações: I- adotar procedimento rotineiro para a construção de tipo e porte similares aos das construções vizinhas; II- consultar especialista; III- não construir.

Maciel Filho (1990), no mapeamento geotécnico de Santa Maria, apresenta duas cartas em escala 1:25.000: uma, das unidades geotécnicas e do comportamento hidrogeológico; outra, dos condicionantes à ocupação, onde destaca as áreas sem restrições, de proteção, desfavoráveis, não adequadas, que exigem recuperação.

A carta de condicionantes à ocupação permite situar um terreno em uma das grandes zonas indicativas de algum problema especial ou inexistência deles, os quais

podem se referir ao excesso de declividade, ocorrência de solos inconsolidados e úmidos, ocorrência de áreas degradadas por algum tipo de exploração ou depósito de lixo, ocorrência de solos que merecem cuidados para impedir a poluição.

- Cartas para loteamentos

Segundo Fernandes et al. e Avilla et al., citados por Maciel Filho (1997), alguns aspectos metodológicos começam a se firmar como consenso. Um deles é a divisão em unidades homogêneas a partir de critérios geomorfológicos e de declividade.

Em Avilla et al., citados por Maciel Filho (1997), há cadastramento dos problemas geotécnicos. Como característica de mapeamento em área urbanizada, é introduzida a classificação de estágio de urbanização baseada no grau de adensamento, presença de infra-estrutura e equipamentos urbanos e estágios de consolidação urbana. Também as recomendações diferenciadas para áreas urbanizadas, em urbanização remota, de tratamento especial são contribuições importantes. O mapeamento está em escala 1:25.000 e 1:10.000.

- Cartas de risco

Entre os tipos de cartas de interesse geotécnico, tem-se a carta de risco, podendo-se citar a carta de risco sísmico. Há zoneamento de risco de colapso em terrenos cársticos (PRANDINI et al., 1990), de risco de inundação (CABRAL e HURTADO, 1990), de risco de movimentos de massa e erosão (CARVALHO, 1990) e outros semelhantes.

- Carta de jazidas de materiais de construção

Este mapa é considerado capaz de satisfazer as necessidades do projeto de viabilidade, emitindo considerações de fundação, com valores quantificados.

- Carta para disposição dos rejeitos sólidos e líquidos

Esta é uma das aplicações mais importantes do mapeamento geotécnico, referindo-se à análise dos terrenos quanto à disposição dos rejeitos sépticos de baixa periculosidade, tanto domésticos quanto industriais (ZUQUETTE e GANDOLFI, 1987).

- Carta de fundações

Este tipo de mapa refere-se ao detalhamento das fundações ou áreas de influência de alguma obra. Tressoldi e Sathler (1981) destacam a importância de execução de mapeamentos geológico-geotécnicos desde o início das escavações até a etapa de preparo de fundações para concretagem de barragens.

- Cartas para geologia ambiental

Zuquette e Gandolfi (1984) fizeram uma caracterização do meio físico, principalmente em termos de geologia e materiais de cobertura, e uma análise da ocupação da região sudeste do Estado do Mato Grosso com os problemas decorrentes.

- Cartas de problemas específicos

Em Barroso et al. (1987), os autores apresentam uma importante contribuição metodológica em função das condições de trabalho que impossibilitavam a aplicação das técnicas usuais. O mapeamento é de detalhe, 1:500, e o estabelecimento das unidades obedece ao critério de divisão em função da natureza dos materiais. O rigor técnico-científico é mantido pela utilização de planta cadastral, sendo tomados como unidades de mapeamento, materiais normalmente não considerados como tais, como, por exemplo, depósitos de lixo ou entulho.

Em geral, os mapeamentos geotécnicos, de acordo com as escalas e características de cada região, fornecem informações para o planejamento, tanto no âmbito regional quanto urbano. Para o planejamento urbano, pode-se citar o auxílio na localização de autopistas; no planejamento para desenvolvimento residencial; na disposição de rejeitos industriais e domésticos; no suprimento de água; fundações; na seleção de áreas para indústria; no descobrimento de possíveis jazidas minerais; na sistematização de drenagem adequada; no controle de enchentes; na adaptação de edificações e topografia; e na escolha de áreas para recreação.

Conforme Zuquette (1981), os princípios a serem observados durante a realização das cartas geotécnicas são os seguintes:

- informações objetivas e condizentes com a sua finalidade;
- demonstração das variações do meio físico;
- a forma de apresentação da carta que depende da finalidade, podendo ser em uma só folha ou em forma de atlas.

E como fatores que influenciam a qualidade das cartas geotécnicas, têm-se: a complexidade das condições geotécnicas, a escala do mapa, o tipo de mapa geotécnico, o número de pontos documentados (depende da escala, natureza e precisão do projeto), o tamanho e forma da área.

A classificação formal dos mapas pode ser feita da seguinte maneira:

- Quanto à finalidade: especial ou multifinalidade;
- Quanto ao conteúdo: analítico ou compreensivo;
- Quanto à escala: escala grande: 1:10.000 ou maior (mapa c/ finalidade específica); escala intermediária: 1:10.000 a 1:100.000 (mapa para planejamento regional); escala pequena: 1:100.000 ou menor (mapeamento de caráter geral).

Conforme metodologia de Zuquette (1987), "a elaboração dos mapeamentos é baseada num grupo de informações pré-existent e fundamentais para cada região". Para tanto, têm-se as classes de documentos ditos mapas básicos fundamentais e opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas, como as quatro principais categorias de informações que são levantadas e analisadas no mapeamento.

- Mapas básicos fundamentais

Neste grupo de mapas normalmente são representados os componentes do meio físico, utilizados para qualquer região.

- Mapa Topográfico: tem a função principal de controlar a escala do trabalho, pois é sobre ele que serão colocadas as outras informações, além de permitir a confecção da carta clinométrica.
- Mapas Geológicos: podem representar tanto os materiais do substrato rochoso, quanto inconsolidados, desde que em folhas separadas.
- Mapa do Substrato Geológico: apresentam as características dos materiais, tanto em termos de litologias, de composição mineralógica, quanto de diagênese e de estruturais.
- Mapas de Materiais Inconsolidados: devem representar todos os materiais que estão sobre o substrato rochoso, diferenciando-os quanto à textura, à origem, à rocha-mãe, à espessura (profundidade do substrato) e outras características.
- Mapa das Águas: estes devem fornecer informações sobre as condições hidrológicas (superficial) e/ou hidrogeológicas (subsuperficial), de interesse ao mapeamento geotécnico. As características hidrogeológicas referem-se, em especial, aos aquíferos,

de superfície ou confinados, os quais são os tipos litológicos responsáveis pelo armazenamento; também se referem às áreas de recarga, à profundidade e à espessura do material armazenador, às condições de perfuração e aos materiais que apresentam as dificuldades para sondagem em cota superior à do aquífero.

- Mapas básicos opcionais

Neste grupo, são considerados todos os mapas existentes, com exceção dos citados no tópico anterior, que podem ser de interesse ao mapeamento, em função das características da região em análise.

- Mapa Pedológico: apresentam os materiais inconsolidados para uma profundidade que varia até 2,5 ou 3 metros. Fornecem informações, tais como a origem e rocha-mãe dos diferentes tipos de material inconsolidado residual, (solo) a composição mineralógica, a porosidade e as estruturas, a análise granulométrica, as massas específicas aparente e real, a textura, a estimativa de permeabilidade, etc.

- Mapa Geofísico: utilizados, normalmente, para fins de mineração, na delimitação de corpos rochosos em profundidade e que podem ser de interesse para prospecção mineral. São de grande interesse para a geotecnia quando contêm informações sobre jazidas de materiais de construção civil, tanto em termos de rochas duras como de material inconsolidado.

- Mapa Geomorfológico: representa, geralmente, as características do meio físico, tais como a morfologia, a morfogênese e a morfocronologia, sendo o primeiro o mais usado. Pode-se ter vários tipos de mapas geomorfológicos, os quais são descritos a seguir:

- Mapa Morfológico: representa o relevo, através de seus perfis, de suas inclinações, de suas quebras bem como de dados sobre suas dimensões.

- Carta Clinométrica: é obtida através da interpretação do mapa topográfico, onde as distâncias entre as curvas de nível são transformadas em porcentagens de inclinação, que são representadas nos mapas por classes, possuindo limites máximos e mínimos determinados pelas diversas formas de ocupação, vindo a facilitar o planejamento dos equipamentos urbanos.

Em Zuquette (1981), as classes adotadas de porcentagem de inclinação, relativas à instalação de equipamentos urbanos podem ser:

- 0 a 2% - ótima
- 2 a 5% - muito boa
- 5 a 10% - boa

- 10 a 20% - razoável – com restrições.

Além disso, deve-se levar em conta a legislação existente. A lei 6.766, de 19/12/1979, em seu artigo 3º, disciplinou o parcelamento do solo urbano, explicitando, entre outras coisas:

“Parágrafo único. Não será permitido o parcelamento do solo:  
 III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento)  
 salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes;  
 IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação”.

- Mapa Morfogenético: retrata as origens e o desenvolvimento dos relevos, possuindo um nexu descritivo das formas e das características dos materiais que compõem o terreno.

- Mapa Morfocronológico: suas funções básicas são o registro e a classificação das formas de acordo com a idade.

- Mapa Climático: retrata as variações relativas à pluviosidade, à evapotranspiração, ao escoamento, à temperatura, à insolação e a outros fatores que compõem ou alteram as condições climáticas de uma região. Em geral, trazem dados analisados para cada bacia em que existam postos climatológicos.

Mapa da Ocupação Atual ou Prevista: este mapa deve apresentar as áreas que são de uso público já determinado, as que são de proteção das nascentes, as de recargas de aquíferos, as linhas de túneis responsáveis pelo conduto de líquidos, as áreas em que já há projetos para ocupação, etc. É de grande importância na análise, previsão e determinação do comportamento da ocupação que ocorrerá na região.

- Mapas auxiliares

Mapa de Documentação ou de Dados: é o mapa de natureza auxiliar para o mapeamento geotécnico, mais conhecido e útil. Tem o objetivo básico de registrar todos os pontos (locais) onde foi possível obter alguma informação (qualitativa ou quantitativa), assim como o tipo e modo de obtenção da informação.

- Cartas derivadas ou interpretativas

As Cartas Interpretativas são o resultado da associação das cartas básicas com os dados geotécnicos, de tal modo que venham a servir de orientação aos usuários

relativamente à utilização dos terrenos. Em geral, dizem respeito à resistência ao cisalhamento, fundações, escavabilidade; instalação de equipamentos sépticos, drenabilidade e utilização dos materiais para construção; traficabilidade, expansibilidade e compressibilidade; permeabilidade e erodibilidade (ZUQUETTE, 1981).

Fazem parte desta classe as cartas de zoneamento geotécnico específico (aptidão), de zoneamento geotécnico geral, de clinometria, de planejamento geral e de condições construtivas, entre outras.

As cartas derivadas contêm informações sobre os terrenos para uma ou mais finalidades e são destinadas ao uso direto pelos usuários.

Dangermond (1990) comenta que “os mapas têm sido uma forma útil para armazenar informações, conceber idéias, analisar conceitos, prever acontecimentos, tomar decisões sobre dados espaciais, que ocupam uma determinada posição geográfica”. Os dados espaciais são armazenados em conjuntos, de acordo com determinada característica ou atributos como recursos hídricos, substrato rochoso (geologia), materiais inconsolidados (solos), divisões básicas do meio físico (geomorfologia), áreas degradadas, etc.

A automatização e melhoria do processo de mapeamento geotécnico pode ser obtida pela utilização de um SIG, sistema de informações geográficas, o qual vem a ser uma ferramenta potencial, ao executar a análise da criação de uma ficha de campo e a normalização dos dados e programas associados a sistemas. Auxilia, também, a manipulação das informações e a combinação de mapas.

## **2.8. Geoprocessamento e Estudos Ambientais**

O Geoprocessamento consiste no conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico e envolve quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento de informações espaciais (FATORGIS, 1998):

- Técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia convencional, fotogrametria, levantamento de dados alfanuméricos);
- Técnicas de armazenamento de informação espacial (Banco de dados);
- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes);

- Técnicas para o uso integrado de informação espacial (sistemas GIS – Geographic Information Systems, LIS – Land Information Systems, AM/FM – Automated Mapping/ Facilities Management, CAD – Computer- Aided Design).

Conforme Brollo (2001), dentre as tecnologias disponíveis na área de geoprocessamento, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui o instrumento mais adequado para ser utilizado no processo de cartografia geotécnica, associada à gestão ambiental.

### **2.8.1. Sistema de informações geográficas**

Conforme Câmara (1995), o termo *sistemas de informação geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido às várias áreas de aplicações (agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias de água, energia e telefonia), há pelo menos três maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos, como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Para Burrough (1987), SIG pode ser definido como “um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real”.

Segundo Câmara (1995), um SIG possui os seguintes componentes: interface com o usuário, entrada e integração dos dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de banco de dados geográficos). O inter-relacionamento entre os componentes é apresentado na Figura 2.5, e a sua implementação ocorre de forma distinta em cada sistema, em função dos seus objetivos e necessidades.

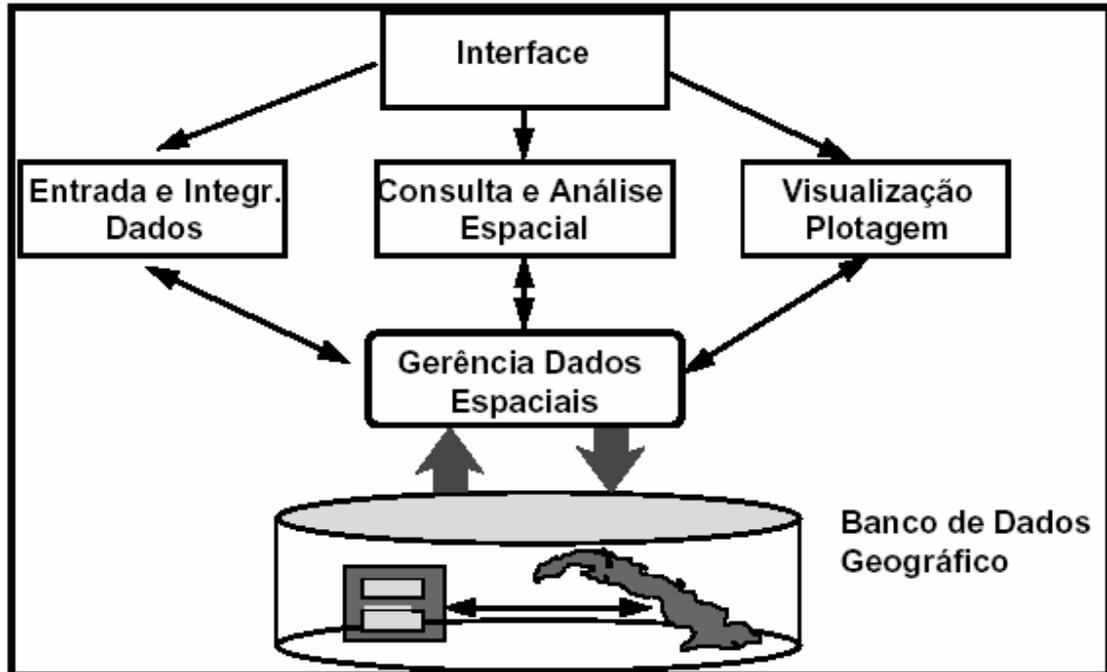


Figura 2.5: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara(1995).

O uso da tecnologia dos sistemas de informação geográfica aponta para quatro campos de atuação ligados aos Estudos Ambientais, conforme Medeiros e Câmara (2002), são eles: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e os prognósticos ambientais.

Conforme Petersen et al. (1998), a disponibilidade de fontes de dados na forma digital, e a capacidade de computadores para tratar grandes volumes de dados atualizados, têm aumentado a aplicação dos SIG no planejamento dos recursos naturais. Os dados atribuídos à degradação do solo em um SIG consistem das observações ou parâmetros medidos registrados, enquanto mapas são digitalizados ou estimados da combinação de outros parâmetros espaciais contidos em uma base de dados existente. A aplicação do SIG na avaliação da degradação do solo tem sido em áreas de análise e exposição de relevantes dados de atributos, a parametrização de modelos de simulação, e a ligação do SIG com estes modelos.

Como exemplo tem-se o estudo de Dermentzopoulos e Katsaridis (1997), onde a metodologia de um SIG foi utilizada para otimizar o trabalho com dados geológico-geotécnicos em propósitos de planejamento urbano. A aplicação do método apresenta o caso da cidade de Piraeus, Grécia. Uma extensa cadeia de dados geológico-geotécnicos relatados, os quais foram efetivamente gerenciados. O SIG permite analisar complexos problemas considerando a relação entre fatores associados com o desenvolvimento urbano e parâmetros geológico-geotécnicos.

Em outro estudo realizado por Gournellos et al. (1997), foi utilizada a tecnologia SIG para investigar a complexa inter-relação entre variáveis geológicas, geomorfológicas e ambientais. O objetivo do estudo era desenvolver estratégias apropriadas para o manejo de recursos, proteção ambiental, avaliação de riscos e planejamento regional. A análise de variáveis requereu um grande número de dados espaciais e temporais, os quais foram obtidos de várias fontes. Como resultado final, os autores obtiveram a criação de diferentes camadas de base de dados e mapas temáticos. Concluíram ainda, que estes tipos de dados e análises podem ser aplicados para diferentes aspectos, naturais ou sócio-econômicos. Ao final, os autores destacam a necessidade do desenvolvimento em nível local e regional, de um mecanismo de ampla monitoração para decisões estratégicas futuras.

Weber et al. (2003) comentam que no estudo realizado para diagnosticar os principais usos do solo e da água da bacia hidrográfica do rio Caí- RS, os resultados obtidos demonstraram que o SIG é uma tecnologia fundamental de apoio a qualquer projeto que pretenda resolver os problemas ambientais relacionados a bacias hidrográficas. Seu uso agiliza o processo de geração de informações para subsidiar tanto o diagnóstico quanto o gerenciamento, sem investimentos elevados.

Santos e Valeriano (2002) desenvolveram uma metodologia baseada em técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para mapear a cobertura vegetal de Áreas de Proteção Permanente e Áreas de Uso Restrito, definidas pelo Código Florestal. Os resultados demonstraram que métodos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica permitem o mapeamento de áreas de proteção permanente e uso restrito de acordo com o Código Florestal e a detecção de transgressões na cobertura da terra.

Ao realizar o cruzamento do mapa de capacidade de uso das terras com o mapa da divisão dos lotes, Wegner et al. (2001) comenta que o SIG forneceu como resultado a capacidade de uso das terras em cada lote, sendo que um novo mapa pode ser gerado ou uma tabela contendo um conjunto de valores numéricos.

No estudo realizado por Hasenack et al. (2000) foram estudadas as reservas de carvão do Rio Grande do Sul, as quais possuem altos teores de cinza e, em consequência, um volume muito grande de cinzas e rejeitos de sua exploração que são acumuladas na região de forma inadequada, trazendo problemas para o solo e para a água e à saúde humana. Neste estudo, o SIG tem a função de gerar a base cartográfica digital da área de estudo, promover o trabalho interdisciplinar necessário para a área

ambiental e oferecer dados e ferramentas de planejamento aos municípios da região de estudo.

Moraes Souza et al. (2002) desenvolveram estudo sobre a distribuição espacial das classes de usos do solo, o que é de extrema importância para encadear a evolução da ocupação urbana com as mudanças nos padrões de uso do solo, identificando o atual padrão de desenvolvimento urbano na periferia de Blumenau (SC). Foi utilizado o SIG-Spring 3.5.1, na interpretação temporal do uso do solo, através de classificação das imagens TM-Landsat. Inicialmente foi criado um banco de dados contendo diferentes planos de informação, sendo: a) Delimitação do limite dos bairros que compõem a área de expansão urbana; b) Imagem, contendo as cenas de 1997 e 1999; e c) Uso do solo, obtido através da classificação do plano anterior em diferentes classes contendo agricultura ou pastagem, água ou drenagem, área urbanizada ou sistema viário e vegetação nativa. Os dados então foram cruzados com a delimitação da expansão urbana, dando a quantificação e percentual das classes de uso do solo nas duas cenas analisadas. Desta forma é possível perceber que o diagnóstico através da interpretação de imagem de satélite e a classificação da dinâmica da ocupação urbana pode ser muito útil para tarefas de ampliação ou diminuição do perímetro urbano e análise de suas conseqüências.

Segundo Dias et al. (1996), a ação conjunta entre técnicos e comunidades visando a recuperação do meio ambiente induz ao uso racional do espaço físico, com melhoria da qualidade de vida do homem e da sociedade.

### **2.8.2. Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand & Kiefer (1987) *apud* ENVI (2003) como “... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno“. Para se obter estas informações usa-se um meio que, neste caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. Isto, no entanto, não é possível em todas as partes do espectro eletromagnético, porque a transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

Entende-se por Sensoriamento Remoto a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e

da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações (IBGE, 2003).

Conforme ENVI (2003), a determinação da natureza dos alvos pelos métodos de sensoriamento remoto é baseada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias em cada banda do espectro. A reflectância, ou fator de reflexão é proporcional à razão da radiação refletida pela radiação incidente. Quando as respostas espectrais de vários materiais são conhecidas, as propriedades de alvos desconhecidos podem ser determinadas pela comparação das respostas espectrais desses alvos com os dados de referência.

No caso da vegetação, a determinação e a diferenciação pelos métodos de sensoriamento remoto são possíveis no intervalo de 0,4 até 2,5  $\mu\text{m}$ , pois neste intervalo as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão (ENVI, 2003).

No caso dos solos, as características dos solos nus (sem vegetação) podem ser analisadas nas bandas correspondentes ao intervalo espectral do azul, valores de reflexão baixos, os quais aumentam continuamente em direção da luz vermelha, do NIR e do MIR ("mid infrared"). Grande parte das substâncias orgânicas reduz a refletividade dos solos, especialmente nos comprimentos de onda acima de 0,6  $\mu\text{m}$ . Uma alta umidade do solo é caracterizada, em todos os comprimentos de onda, por valores baixos de reflexão, pois o índice de refração nas áreas frontais da interface água/partícula é menor que o índice de refração nessas áreas em solos secos. Em aerofotos e imagens de satélite, os solos úmidos são caracterizados por tons de cinza mais escuros, o que significa uma refletividade menor (ENVI, 2003).

As rochas apresentam comportamentos espectrais semelhantes aos dos solos, sendo que um dos elementos de maior diferenciação entre as curvas de rochas e de solos é a presença de matéria orgânica nestes (ENVI, 2003).

As áreas urbanas, em função da variabilidade de materiais utilizados no seu interior, são caracterizadas por sua aparência heterogênea, o que leva à descrição da refletividade de cidades ser de uma forma generalizada. As áreas residenciais, por exemplo, são formadas por materiais como concreto, asfalto, vidro, ferro e vegetação, além de apresentar a influência das sombras causadas por edificações altas. A detecção de áreas urbanizadas representa um fator limitante para aplicação de classificações automáticas, pois a informação espectral pode ser parecida com a de solos puros ou de áreas agrícolas, os quais são caracterizados por um aumento regular da reflexão no

intervalo do UV até o NIR. O aumento de reflexão causado pelas áreas urbanas não parece tão regular como aquele provocado pela vegetação ou pelos solos (ENVI, 2003).

Em sensoriamento remoto o termo resolução desdobra-se em três categorias independentes: a resolução espacial, a resolução espectral e a resolução radiométrica.

A resolução espacial é determinada pela capacidade do detector em distinguir objetos na superfície terrestre.

A resolução espectral é um conceito inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. É definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda.

A resolução radiométrica é dada pelo número de valores digitais representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de valores, maior é a resolução radiométrica.

#### **2.8.2.1. Fotografias aéreas e ortofotos**

As fotografias aéreas contribuem para a apresentação de detalhes quanto à ocupação territorial e à cobertura vegetal, permitindo a comparação histórica da ocupação e possibilitando uma projeção dos limites de ocupação (POLZ e PINHEIRO, 2002).

A ortofoto despontou recentemente como um produto de grande aceitação, em substituição ou complementação às bases vetoriais convencionais, pois aliam a qualidade geométrica do mapa com a riqueza de informações da fotografia aérea (TOMMASELLI, 2002). Segundo o autor, a diferença entre uma ortofoto e uma fotografia aérea convencional é que essa última é uma representação em perspectiva do espaço, ou seja, significa que dois pontos com as mesmas coordenadas planimétricas, mas em diferentes altitudes serão registrados em diferentes posições na imagem. Este deslocamento é conhecido como deslocamento devido ao relevo. Uma das principais consequências é que fotografias não têm escalas uniformes, variando conforme a altitude do terreno.

No caso das cartas ou plantas topográficas, essas são projeções ortográficas nas quais as linhas projetantes são perpendiculares ao plano de referência horizontal. Com isso, a escala é sempre uniforme e a mudança de altitude não afeta a representação de um objeto. A ortofoto nada mais é do que a fotografia aérea transformada em uma projeção ortográfica, sendo necessário, para isso, o Modelo Digital do Terreno (MDT) (TOMMASELLI, 2002).

Furquim e Sallem Filho (2002) definem ortofoto “como uma imagem fotográfica onde as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições, sendo desta forma, geometricamente equivalente a um mapa de linhas e de símbolos, onde podem ser realizadas medidas diretas de posição, distâncias, ângulos horizontais e áreas”. Segundo os autores, os elementos básicos necessários para a geração de uma ortofoto digital são: imagem digital, pontos de controle, modelo digital do terreno e parâmetros da câmara.

Conforme Queiroz Filho (1993), a ortofoto digital é o produto da retificação diferencial em ambiente magnético, ou seja, do processo de transformação da projeção central da imagem (fotografia aérea rasterizada) em projeção ortogonal, mediante meios e métodos essencialmente digitais.

Segundo Tommaselli (2002), a ortorretificação é o processo de retificação diferencial de imagens aéreas que tem por objetivo remover efeitos da inclinação, deriva, variações de altitude da câmara aérea e deslocamentos devidos ao relevo. As vantagens em se utilizar as ortoimagens são devidas a que algumas aplicações requerem a cobertura cartográfica de grandes áreas em curto período, por exemplo, o monitoramento ambiental, catástrofes, planejamento, etc. Também porque, mesmo em aplicações convencionais, as ortoimagens podem complementar e até mesmo substituir o mapeamento convencional.

Queiroz Filho (1993) realizou um trabalho de verificação do potencial da ortofoto digital como fonte de dados para a atualização de cartas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde utilizou uma fotografia aérea de uma área urbana do município de Santo André – SP, na escala 1:8.000, e um Modelo Digital do Terreno (MDT) baseado em carta altimétrica na escala 1:2.000. Segundo o autor, para gerar uma ortofoto digital, os dados de entrada necessários são a imagem digital (fotografia aérea rasterizada), os dados de orientação interior e exterior da câmara, e o Modelo Digital do Terreno (MDT). A rasterização de fotografias aéreas é realizada basicamente por equipamentos scanners (equipamentos periféricos de entrada gráfica de dados que fazem a captação de informações gráficas ou imagens, transformando-as em dados digitais). O método de retificação digital, do tipo diferencial, é a transferência dos tons de cinza da fotografia aérea ou imagem de satélite para uma malha fina e regular que representa a projeção ortogonal do terreno (MDT). O método diferencial é o mais indicado quando se necessita de precisão nas coordenadas planialtimétricas.

Segundo Queiroz Filho (1993), os problemas verificados no processo de produção de ortofotos dizem respeito ao planejamento e execução do vôo, pois exige que sejam mais meticulosos. Além disso, exige scanner de alta resolução, gerando arquivos grandes para o dispositivo de 23x23cm e, conseqüentemente, microcomputadores com grande capacidade de memória.

Segundo Tommaselli (2002), a produção de ortoimagens obedece às etapas de digitalização das fotografias aéreas, orientação, preparação do modelo digital do terreno, transformação geométrica e mosaicagem. Na primeira etapa, de digitalização de fotografias aéreas obtidas com câmaras métricas convencionais, são utilizados scanners de tamanho adequado para tal operação. Na segunda etapa, de orientação, essa é normalmente subdividida em orientação interior e exterior. A orientação interior de fotografias métricas digitalizadas é baseada nos mesmos modelos usados na Fotogrametria Analítica convencional, determinando-se parâmetros de transformação usando as coordenadas das marcas fiduciais, e aplicando-se, ainda, as correções de demais erros sistemáticos. A orientação exterior pode ser obtida de várias formas, no entanto, mesmo as metodologias tradicionais, usando aerotriangulação do bloco de imagens digitais, são substancialmente mais rápidas e simples. A terceira etapa refere-se ao Modelo Digital do Terreno (MDT), que é dado fundamental do processo em que é usada correlação de imagens. A partir deste modelo será interpolado um valor de altitude para cada pixel da ortofoto. A exatidão final da ortoimagem dependerá da qualidade do MDT, pois os erros do MDT se propagarão para a ortoimagem em forma de erro planimétrico. Para a execução da quarta etapa, que é a geração de cada ortoimagem individualmente através da transformação da imagem original na ortoimagem, existem duas abordagens – a direta e a inversa – sendo que a mais usada é a inversa. Nessa abordagem o processo de produção começa com uma imagem vazia que corresponde a ortoimagem no terreno; para cada pixel da imagem associa-se uma altitude a partir da interpolação local de elementos do MDT. Usando as coordenadas do pixel, sua altitude interpolada e os elementos de orientação interior e exterior da imagem, calcula-se a projeção deste pixel na imagem original e interpola-se o seu tom de cinza (ou cor), atribuindo-se este valor ao pixel ortoimagem. Com este processo, cada imagem é ortorretificada, restando juntá-las em uma única imagem.

A etapa de aerotriangulação densifica o número de pontos de apoio levantados em campo através de técnicas de aerofotogrametria, determinando, por processos matemáticos de ajustamento, as coordenadas UTM dos pontos fotogramétricos. Estes

pontos são utilizados para o cálculo da orientação absoluta dos modelos estereoscópicos. Para uma maior agilidade na obtenção do modelo digital do terreno e da ortofoto digital é utilizado como ferramenta de trabalho o módulo de aerotriangulação de um software que trabalhe ortofoto digital. O software deve permitir a utilização de entrada de dados contendo os parâmetros de calibração da câmara; importação de imagens escaneizadas; orientação interior das imagens; leitura automática do arquivo que contém a listagem dos pontos de controle (GPS), obtidos em campo; inserção automática e manual de pontos fotogramétricos, para densificação do apoio terrestre e; ajustamento das coordenadas dos pontos fotogramétricos e pontos de controle. Também é necessário realizar a orientação dos diapositivos que permitiram a obtenção das curvas de nível que darão suporte para a criação do modelo digital de terreno (MDT). As altitudes são repassadas para o software que irá gerar o MDT (Modelo Digital do Terreno). Com a união dos modelos estereoscópicos e o modelo digital do terreno através do software utilizado, são determinadas as correções da imagem por modelo e através da utilização de softwares específicos, as imagens dos modelos corrigidos são unidas formando um mosaico único. Através de ferramentas do sistema são cortadas as ortofotos de acordo com o limite da articulação das folhas. A geração das ortofotos digitais se dá com a união dos modelos estereoscópicos e o arquivo MDT o que possibilita a obtenção da ortofoto digital a qual tem precisão idêntica ao mapeamento. Deve ser feita uma pré-análise procurando deformações de superfícies na imagem da ortofoto. Encontrando-se tais deformações, deve ser retomada a fase de obtenção do arquivo MDT. A imagem da ortofoto se dá no formato tiff, a qual é importada para o software AUTOCAD onde são dados os acabamentos finais. Terminada esta etapa o arquivo é salvo gerando uma ortofoto na forma DWG, a qual pode ser plotada em papel.

Conforme Furquim e Sallem (2002), a precisão relativa na ortofoto digital é diretamente relacionada com a escala da foto, podendo chegar a 50 micra (0,050mm). Por exemplo, a precisão relativa visando uma foto 1:10.000 é de 50 cm. A precisão absoluta de uma ortofoto depende dos pontos de controle usados para orientar a imagem digitalizada e da precisão do MDT usado na retificação. O tamanho do pixel da imagem deve ser adequado para a representação dos detalhes do terreno na escala do produto final. A Tabela 2.7 abaixo apresenta valores recomendados pelo MEET NATIONAL MAP ACCURACY STANDARDS.

Tabela 2.7: Valores recomendados pelo MEET NATIONAL MAP ACCURACY STANDARDS para o tamanho do pixel da imagem em relação à escala do produto final. Fonte: Furquim e Sallem (2002).

<b>Escala do Produto Final</b>	<b>Tamanho aproximado do Pixel</b>
1:250	0,025 m
1:500	0,050 m
1:1.250	0,125 m
1:2.500	0,250 m
1:5.000	0,500 m
1:7.500	0,750 m
1:10.000	1,000 m
1:15.000	1,500 m

Com o aumento da capacidade de processamento, armazenamento, resolução e a redução dos custos dos equipamentos de manipulação de imagens, a ortofoto digital deve tornar-se uma alternativa rápida e econômica para complementar e/ou substituir os mapas analógicos convencionais.

#### **2.8.2.2. Imagens de satélite**

Como imagem orbital ou de satélite, considera-se a aquisição de dados de sensoriamento remoto através de equipamentos sensores coletores à bordo de satélites artificiais. Estas imagens, uma vez corrigidas geometricamente dos efeitos de rotação e esfericidade da Terra, variações de atitude, latitude e velocidade do satélite, constituem-se em valiosos instrumentos para a Cartografia, na representação das regiões onde a topografia é difícil e onde as condições de clima adversas não permitem fotografar por métodos convencionais (IBGE, 2003).

As radiações do espectro visível e do infravermelho próximo podem ser registradas pelos sistemas passivos do sensoriamento remoto com métodos fotográficos, de TV e de varredura ("scanners"). Esses sistemas registram a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelos alvos terrestres. Enquanto os métodos fotográficos e de TV são limitados ao intervalo de 0,4 a 0,9  $\mu\text{m}$ , a técnica de varredura permite o registro de imagens nos comprimentos de onda do ultravioleta até o infravermelho térmico (0,3 – 14,0  $\mu\text{m}$ ). A radiação refletida e/ou emitida pela superfície terrestre atravessa o sistema óptico do "scanner" e é focalizada sobre os detectores. Estes transformam a radiação em sinais elétricos que são gravados em fita magnética. Um "scanner" multiespectral pode gravar sinais provenientes de vários intervalos de comprimento de onda.

Para que o sistema de coleta de dados funcione é necessário que sejam preenchidas algumas condições:

- a) Existência de fonte de radiação.
- b) Propagação de radiação pela atmosfera.
- c) Incidência de radiação sobre a superfície terrestre.
- d) Ocorrência de interação entre a radiação e os objetos da superfície.
- e) Produção de radiação que retorna ao sensor após propagar-se pela atmosfera.

Entre os satélites de observação terrestre mais utilizados em estudos ambientais, têm-se: LANDSAT 7; SPOT 5; IKONOS; SATÉLITE TERRA; MODIS; ASTER; QUICKBIRD; ENVISAT; SATÉLITES NACIONAIS (SCD1, SCD2, CBERS1).

#### **2.8.2.2.1. Ortorretificação de imagens de satélite**

Conforme Threetek (2004), as imagens obtidas por sensoriamento remoto contém erros e distorções causados por uma variedade de fatores incluindo distorção radial, deslocamento de terreno e instabilidade de plataforma. O processo de ortorretificação da imagem usando o DEM (MDT) resolve problemas de distorções na imagem, permitindo o uso dos dados da imagem em aplicações futuras. Além disso, pode ser criado um mosaico de imagens de satélite ortorretificadas para mostrar uma área maior que as de tamanho padrão, como no caso de mosaicos de continente ou país.

A ortorretificação de imagens de satélite no software ENVI, versão 4.1, pode ser feita em imagens SPOT (a partir do SPOT 4), Ikonos e QuickBird. No caso da ortorretificação de imagens SPOT, o procedimento solicita um modelo de elevação digital (DEM) e uma grade de pontos de controle (GCPs) que informa os valores de x, y e z (elevação). Já na ferramenta de ortorretificação de imagens IKONOS (Figura 2.6) e QuickBird é solicitado um modelo RPC (Rational Polynomial Coefficient) que é fornecido pelas empresas que comercializam imagens de satélite (Space Imaging, DigitalGlobe, etc.). A ferramenta RPC não solicita DEM (ainda que seja possível usá-lo a fim de obter melhor precisão) e nem dados GCP (ENVI, 2004).



Figura 2.6: Imagem Ikonos, modo PSM 1m de resolução.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

---

#### **3.1. Materiais**

Os mapas, as cartas, as fotografias aéreas, a imagem de satélite, os equipamentos de campo e os softwares utilizados para execução dessa pesquisa apresentam-se listados abaixo:

- Documentos Cartográficos:
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (São Carlos I) (SF-23- Y-A-I-1-NO-B);
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (São Carlos II) (SF-23- Y-A-I-1-NE-A);
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (São Carlos IV) (SF-23 Y-A-I-1-NO-D);
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (São Carlos V) (SF-23-V-C-IV-3-SO-F);
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (Rio do Monjolinho) (SF-23- V-C-IV-3-SE-E).
  - Folha Topográfica publicada pelo IGC (escala 1:10.000) de São Carlos (Capão das Antas) (SF-23- Y-A-I-1-NE-C);
- Fotografias aéreas:
  - fotografias aéreas do ano de 1962, escala 1:24.000;
  - fotografias aéreas do ano de 1978, escala 1:35.000;
  - fotografias aéreas do ano de 1998, escala 1:8.000;
  - fotografias aéreas do ano de 2000, escala 1:30.000.
- Imagem de Satélite:
  - imagem Ikonos PSM, 1m de resolução, Geo Ortho Kit.
- Equipamentos utilizados:
  - Aparelho GPS Leica SR9400, visor C333;
  - Aparelho GPS Garmin 76S;
  - Máquina fotográfica digital Sony;
  - Scanner tamanho A3, ScanMaker 9800XL Microtek;

- Sacos Plásticos (20 x 40 cm, 50 x 70 cm);
- Anéis de PVC (7,45 x 4,65 cm, 4,5 x 2,5 cm).
- Principais softwares utilizados:
  - *Autocad Map 3.0* – digitalização das informações cartográficas;
  - *Surfer 8.0* – modelagem digital de terreno;
  - *TrackMaker Pro* – processamento dos pontos de controle;
  - *Envi 4.1* – geração de ortofotos, ortorretificação da imagem Ikonos, processamento digital de imagem;
  - *Spring 4.2* – banco de dados associado aos planos de informação.

### 3.2. Métodos

Tendo em vista o objetivo da pesquisa que é realizar o levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico das áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, o plano de trabalho adotado baseia-se em trabalhos de campo e laboratório, considera a proposta metodológica para o desenvolvimento da cartografia geotécnica de Zuquette (1987), e utiliza o geoprocessamento como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas. A Figura 3.1 apresenta as várias etapas executadas nesta pesquisa, as quais estão esquematizadas em um fluxograma.

Inicialmente procedeu-se a compilação das informações disponíveis para a área de estudo, tais como, revisão bibliográfica, elaboração de documentos cartográficos preliminares. Paralelamente foram digitalizados os mapas topográficos na escala 1:10.000 para a composição da base cartográfica onde todas as informações obtidas seriam lançadas.

Em seguida, foram realizados trabalhos de fotointerpretação (escala 1:8.000) e trabalhos de campo e laboratoriais para complementar as informações inicialmente compiladas. Os documentos cartográficos, abaixo apresentados, foram organizados segundo a proposta metodológica de Zuquette (1987) e integrados no sistema de informações geográficas *Spring 4.2*.

Os **Mapas básicos fundamentais** referem-se aos componentes do meio físico:

- Mapa Topográfico;
- Mapa do Substrato Geológico;
- Mapa de Materiais Inconsolidados.

Os **Mapas básicos opcionais** consideram todos os mapas existentes, com exceção dos citados anteriormente:

- Carta de Declividade;
- Carta de Uso e Ocupação;
- Carta de Localização Atual das Áreas Degradadas na Cidade de São Carlos– SP.

Os **Mapas auxiliares** referem-se ao registro de todos os pontos (locais) onde foi possível obter alguma informação (qualitativa ou quantitativa), assim como o tipo e modo de obtenção da informação:

- Mapa de Documentação

Procedeu-se, a seguir, um extensivo levantamento da evolução da ocupação urbana na área de estudo por meio de fotografias aéreas dos anos de 1962, 1978, 1998 e 2000. Neste levantamento foram também observadas as degradações ambientais ocorridas nos vários períodos. Este levantamento orientou o passo seguinte que constou da análise detalhada das degradações nas ortofotos digitais (obtidas a partir das fotos aéreas 1:8.000 de 1998) e das visitas de campo para verificação e caracterização da situação atual destas degradações. Este processo foi também complementado com o uso da imagem Ikonos (PSM, 1m), adquirida no ano de 2004. Esta imagem passou por um amplo processo de ortorretificação, com a obtenção de pontos de controle de campo com GPS de precisão cartográfica, o que propiciou a identificação mais precisa do estado atual das degradações ambientais na área.

Nesta etapa foram desenvolvidas as fichas de campo que permitiram a descrição detalhada por tipo de degradação encontrada e a realização do inventário. Foram também feitos trabalhos de campo para coleta de amostras e realização de ensaios de campo (ensaio de infiltração pelo método do duplo anel) e de laboratório (caracterização dos materiais inconsolidados).

Condizente com a proposta inicial da pesquisa, e frente a grande quantidade de dados cadastrados e mapas disponíveis, todas as informações foram incluídas em um banco de dados associado ao SIG *Spring 4.2*.

Finalmente, de posse do conjunto completo de mapas, dados e inventário, foram feitas as análises finais, separando por sub-bacias, de maneira a propiciar um diagnóstico mais detalhado das degradações, condicionantes e deflagradores.

Dada a variedade de ferramentas utilizadas e da complexidade para serem descritas no presente capítulo, as mesmas serão detalhadas nos itens respectivos às etapas em que foram utilizadas.

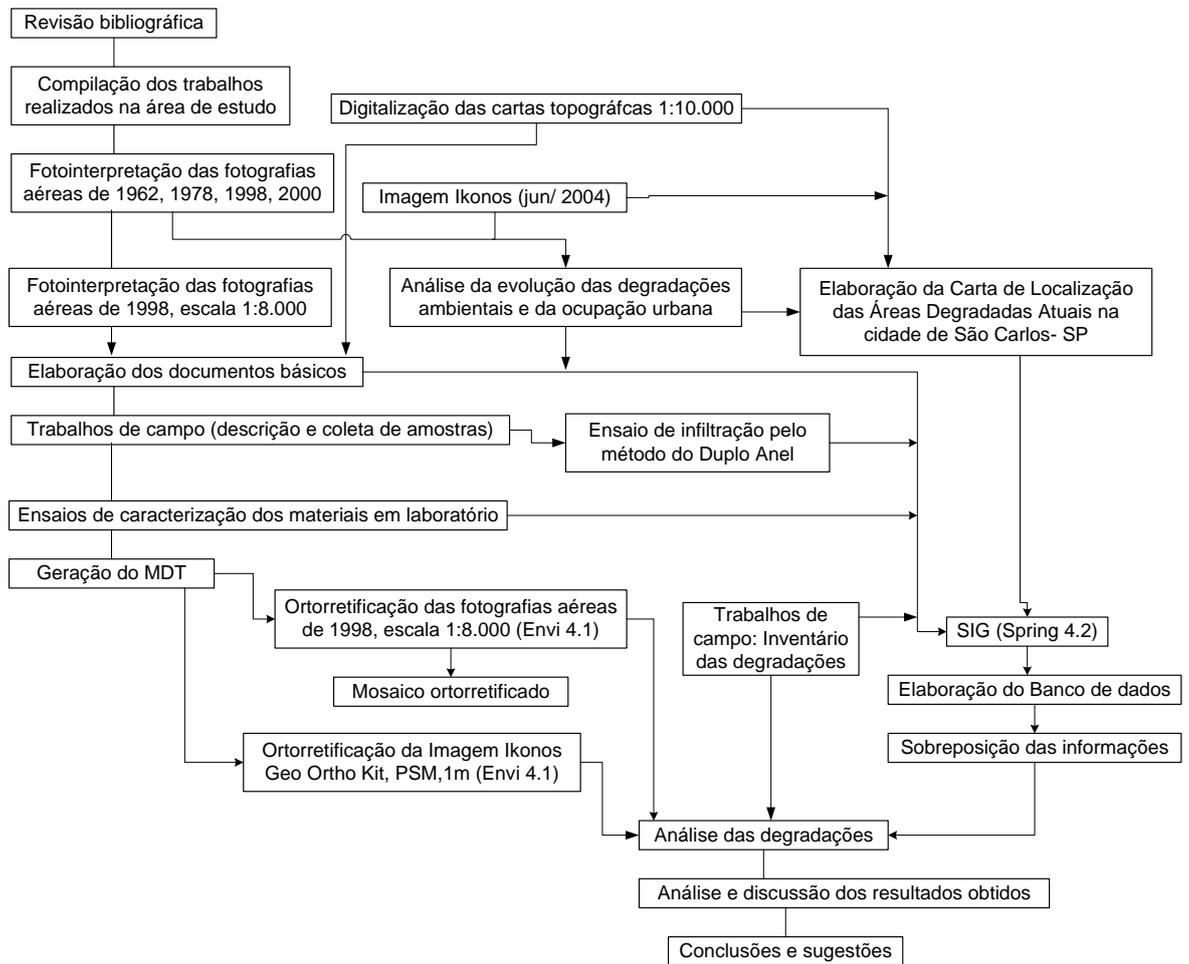


Figura 3.1: Fluxograma das etapas de trabalho executadas nesta pesquisa.

## 4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

### 4.1. Características Gerais

O Município de São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 47°30' e 48°30' Longitude Oeste e 21°30' e 22°30' Latitude Sul, sendo circundado pelos municípios de Ibaté, Itirapina, Dourado e Luís Antônio. A área ocupada pelo município é de 1.140,90 km<sup>2</sup> (Oliveira, 1996) (Figura 4.1).

A área adotada para este estudo compreende 160,0 km<sup>2</sup>, a qual foi determinada em função das bacias hidrográficas existentes dentro ou próximo à área urbanizada. Apesar da drenagem de algumas bacias ocorrer na direção contrária à área urbanizada, tornou-se necessário abrangê-las, tendo em vista a futura ocupação do local. Esta ocupação tanto pode ser residencial quanto industrial, sendo que a instalação desta última torna o estudo mais relevante ainda.

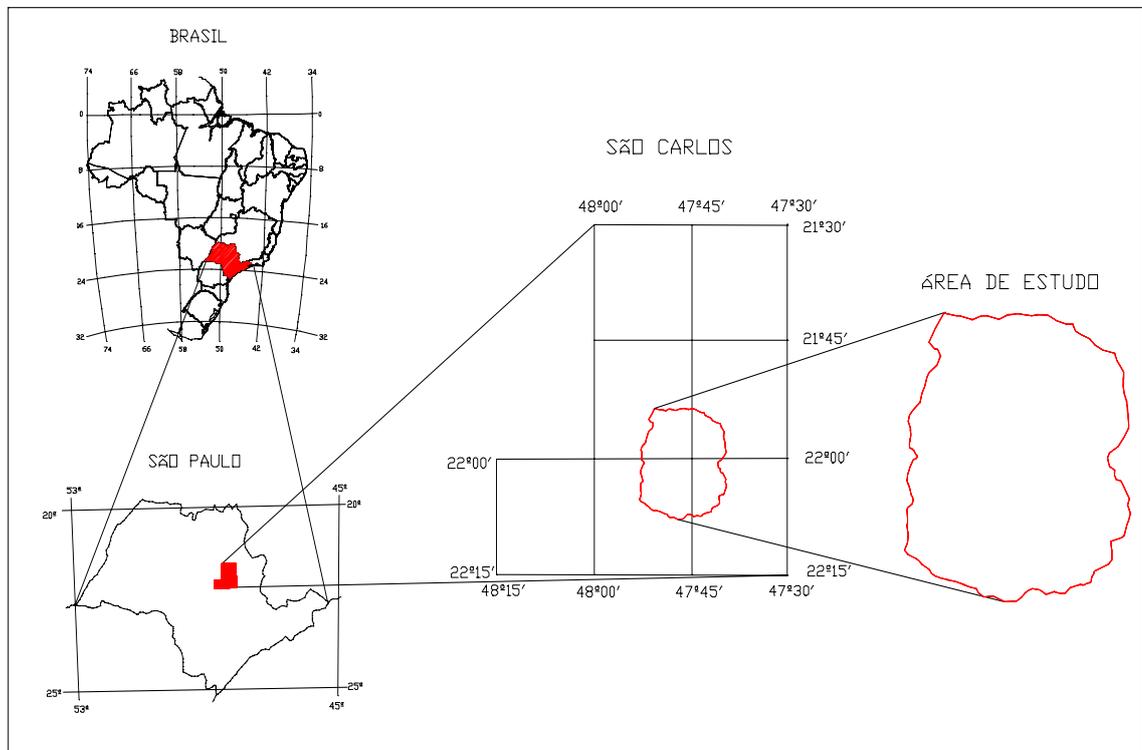


Figura 4.1- Localização da área de estudo.

O município possui uma população total de 192.923 habitantes, sendo 183.369 referentes à população urbana e 9.554 habitantes rurais (IBGE, 2001).

A urbanização ocorreu de forma bastante rápida, como na maioria das cidades de porte médio. Observa-se que a distribuição da população, no espaço urbano, ocorreu de forma irregular, gerando o agravamento dos problemas ambientais.

### Aspectos geomorfológicos e pedológicos

Segundo Gonçalves (1986), a região do Estado de São Paulo, onde se inclui o Município de São Carlos, faz parte da província geomorfológica das "cuestas basálticas e de arenito", localizadas entre as províncias do Planalto Ocidental e a Depressão Periférica Paulista.

Conforme Oliveira (1996), o Córrego do Monjolinho, que nasce na borda da cuesta localizada no setor sudeste da cidade de São Carlos, em altitude superior a 900 m, segue inicialmente a norte, percorrendo o reverso da cuesta e posteriormente a oeste e sul e, finalmente atinge a Cachoeira do Monjolinho, queda d'água de 30 metros localizada no "front" de cuesta, no setor sudoeste da área de estudo. Desta maneira, o vale do Monjolinho delimita topograficamente uma área onde se localiza a maior parcela do núcleo urbano, no reverso da cuesta. Alguns bairros mais recentes romperam estes limites topográficos.

O Planalto de São Carlos é representado pelas formações geológicas Botucatu (Grupo São Bento), contendo a parte abaixo das cuestas; Serra Geral (Grupo São Bento), na estreita região das cuestas, onde ocorre a quebra do relevo (encostas); Formação Itaquerí (Grupo Bauru), no reverso das cuestas, onde se localiza a maior parcela do núcleo urbano; além de formações superficiais (GONÇALVES, 1986).

Os solos podem ser divididos em dois grandes grupos: Latossolo Vermelho-Amarelo, na parte alta da área de estudo, e Areias Quartzosas Profundas, abaixo das cuestas (GONÇALVES, 1986).

### Hidrografia

Conforme Oliveira (1996), "São Carlos está localizada sobre o divisor de águas que limita as bacias hidrográficas do Rio Mogi-Guaçu e Tietê, fato associado à sua localização elevada no Estado. Em razão disso, a maioria dos cursos d'água que drenam São Carlos e a totalidade dos que drenam a área urbanizada, têm suas nascentes

localizadas no município. A poluição dos cursos d'água está associada principalmente ao uso inadequado dos recursos hídricos e do solo, e aos efluentes de esgoto urbano”.

Os principais córregos que drenam a área urbana são os Córregos do Monjolinho, Mineirinho, Gregório, Tijuco, Medeiros, Lazarini, Água Quente e Água Fria, e compõem a bacia do Ribeirão Monjolinho, que flui preferencialmente no sentido leste-oeste.

### Clima

Segundo Tolentino (1967) apud Gonçalves (1986), usando a sistemática de Köpen, o clima do Planalto de São Carlos pode ser classificado como de transição entre Cwa.i e Aw.i, isto é, clima tropical com verão úmido e inverno seco, clima quente de inverno seco.

Conforme Oliveira (1996), o valor médio anual de precipitação é de 1.512 mm, e da umidade relativa é de 66%.

Os ventos predominantes são de nordeste, seguidos por ventos sudeste. A direção dos ventos e a localização das indústrias são fatores que podem comprometer a qualidade do ar na área urbana de São Carlos. As freqüentes queimadas de cana na área rural também comprometem a qualidade do ar em São Carlos, sendo visível a ocorrência de cinzas em suspensão por ocasião da safra canavieira (OLIVEIRA, 1996).

### Vegetação

Segundo Oliveira (1996), as pastagens ocupam a maior parte das terras que circundam o núcleo urbano, exceto no lado oeste, em direção a Ibaté, onde são encontradas culturas de cana-de-açúcar. A leste do perímetro urbano existem áreas de reflorestamento (Pinus).

Segundo Gonçalves (1986), a vegetação natural predominante é o cerrado, sendo caracterizada por uma formação não florestal herbáceo-lenhosa, herbáceo-arbustiva, com árvores perenifólias.

Conforme Oliveira (1996), o cerrado apresenta uma fisionomia que varia desde campo cerrado até cerradão, atingindo até 6 metros de altura. A vegetação tem sido alterada por atividades de reflorestamento, loteamentos e mineração, sendo atualmente reduzida a alguns fragmentos florestais, principalmente nas imediações do bairro Cidade Aracy, onde a textura arenosa do solo compromete o uso agrícola. Nestas áreas a vegetação se apresenta mais aberta e baixa. No entanto, um dos fragmentos florestais de

maior valor está localizado ao norte, no interior da Fazenda Canchim (EMBRAPA), onde a vegetação é mais robusta, compondo um remanescente de mata.

Conforme Soares et al. (2003), os poucos fragmentos da vegetação original estão extremamente esgotados devido ao corte seletivo das espécies, mas também pelos fogos acidentais constantes que ocorrem durante a preparação da cana-de-açúcar antes do corte ou na renovação do pasto, ou mesmo por aqueles causados criminalmente para diminuir o valor ambiental das áreas nativas.

## 5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS PRODUZIDOS

---

### 5.1. Mapa Topográfico 1:10.000 (Anexo 1)

Para a realização do trabalho foi necessária a obtenção de uma base topográfica integrada e em escala compatível para a área de estudo. Assim sendo, os mapas topográficos do IGC (Tabela 5.1) foram inicialmente escaneizados e transformados em um arquivo matricial, que após ter sido inserido no programa Autocad Map 3.0, foi digitalizado. A cada curva de nível, após a digitalização em tela, foi atribuída a sua cota altimétrica de maneira que cada ponto da curva passou a ter uma identificação em termos de x, y e z, onde x e y são as coordenadas UTM e z a sua altitude. Após este processo foi realizada a junção das cartas digitalizadas para compor a área total de estudo. Este documento é apresentado no anexo 1.

Este mapa foi de suma importância para os demais mapas e estudos que foram realizados, pois constituiu a base para lançamento de todas as informações da área, além de servir para a geração do modelo digital do terreno (MDT), da carta de declividade e das ortofotos digitais. Foi digitalizada uma área regular, maior que a área de estudo, para facilitar os procedimentos de geração do MDT e da carta de declividades.

Tabela 5.1: Cartas topográficas referentes à área de estudo.

Nome	Articulação
São Carlos I	SF-23-Y-A-I-1-NO-B
São Carlos II	SF-23-Y-A-I-1-NE-A
São Carlos IV	SF-23-Y-A-I-1-NO-D
São Carlos V	SF-23-V-C-IV-3-SO-F
Rio do Monjolinho	SF-23-V-C-IV-3-SE-E
Fazenda Capão das Antas	SF-23-Y-A-I-1-NE-C

### 5.2. Mapa de Documentação (Anexo 2)

Realizou-se um extensivo trabalho de levantamento de informações geológico-geotécnicas prévias disponíveis para a área de estudo. O Mapa de Documentação apresenta a localização e o tipo de informação existente em vários trabalhos realizados

na área de estudo. O mapa está constituído dos pontos de investigação descritos e/ou amostrados por Zuquette (1981), Bortolucci (1983), Aguiar (1989), Nishiyama (1989) e Muro (2000), além daqueles realizados durante a execução deste estudo (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Pontos que constituem o Mapa de Documentação

<b>Descrição do ponto</b>	<b>Autor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Nº de pontos</b>
Material rochoso descrito	AGUIAR (1989)	(RA)	597
Material inconsolidado descrito	AGUIAR (1989)	(RA)	132
Pontos amostrados e descritos	ZUQUETTE (1981)	(LZ)	24
Pontos amostrados e descritos	NISHYIAMA (1989)	(LN)	17
Poços profundos descritos	NISHYIAMA (1989)	(LN)	5
Pontos descritos	MURO (2000)	(LM)	6
Pontos amostrados e descritos	MURO (2000)	(LM)	5
Sondagem com ensaio SPT executados e descritos	BORTOLUCCI (1983)	(AB)	54
Sondagem com ensaio IPT executados e descritos	BORTOLUCCI (1983)	(AB)	47
Poços profundos	SAAE	---	98
Posto fluviométrico	DAEE	4C-007	1
Posto pluviométrico	DAEE	D4-106	1
Pontos amostrados neste estudo		(NP)	15
Ensaio de infiltração executados neste estudo		(NP)	15
Pontos descritos neste estudo		(NP)	35
Pontos de controle coletados neste estudo		(NP)	257

### 5.3. Mapa do Substrato Geológico (Anexo 3)

Este mapa foi elaborado com base nos trabalhos prévios existentes na área (BORTOLUCCI, 1983; AGUIAR, 1989; MURO, 2000), em fotointerpretação e em visitas ao campo para verificações. A Geologia da região estudada é relativamente simples, como pode ser observado no mapa do Anexo 3. As formações que ocorrem na área são Serra Geral e Botucatu, pertencentes ao Grupo São Bento e a Formação Itaqueri do Grupo Bauru.

A Formação Serra Geral é representada principalmente por derrames de basalto e corpos intrusivos associados. A sua ocorrência na área está associada principalmente às regiões de fundos de vales, onde em geral os rios que cortam a área correm sobre a

rocha são ou pouco alterada. Na região sudoeste da área, próximo à região das cuestas basálticas, ocorrem exposições maiores dessas rochas (Figura 5.1), onde em alguns locais foram instaladas pedreiras para exploração de pedra britada.



Figura 5.1- Área de exposição das rochas basálticas da Formação Serra Geral, na região sudoeste do núcleo urbano.

A Formação Botucatu (Figura 5.2) é representada na área por arenitos homogêneos de origem eólica, com estratificações cruzadas de médio a grande porte. Em algumas partes, como na região sudoeste da área, encontra-se silicificado e compõem, juntamente com os basaltos, um relevo de cuestas. No entanto, na maior parte está recoberto pelas rochas básicas da Formação Serra Geral e pelos Arenitos da Formação Itaqueri. A maior área de afloramento encontra-se na região oeste da cidade, englobando os bairros da Cidade Aracy e Antenor Garcia, onde extensas áreas de solos arenosos, provenientes de sua alteração, estão sujeitas a intensos processos erosivos (Figura 5.3).

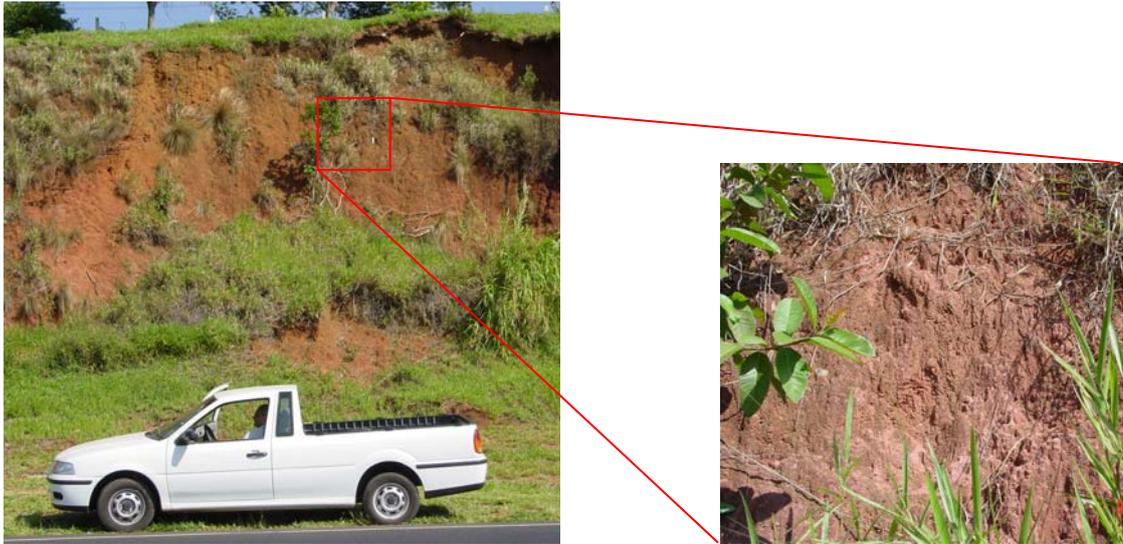


Figura 5.2- Talude à sudeste do núcleo urbano, onde tem-se a exposição dos arenitos homogêneos da Formação Botucatu.



Figura 5.3- Região de afloramento da Formação Botucatu, à oeste do núcleo urbano.

A Formação Itaqueri é composta predominantemente por arenitos finos a conglomeráticos, imaturos, com espessuras que raramente ultrapassam os 30 metros na região. Ocupam principalmente as porções mais elevadas da área, em geral acima da cota 850 metros, aflorando predominantemente na região leste da área mapeada. Os pontos de afloramento da rocha são raros devido à ocorrência de espessa cobertura cenozóica arenosa com espessuras que chegam a atingir 14 metros, com média de 8 a 10 metros (Figura 5.4).

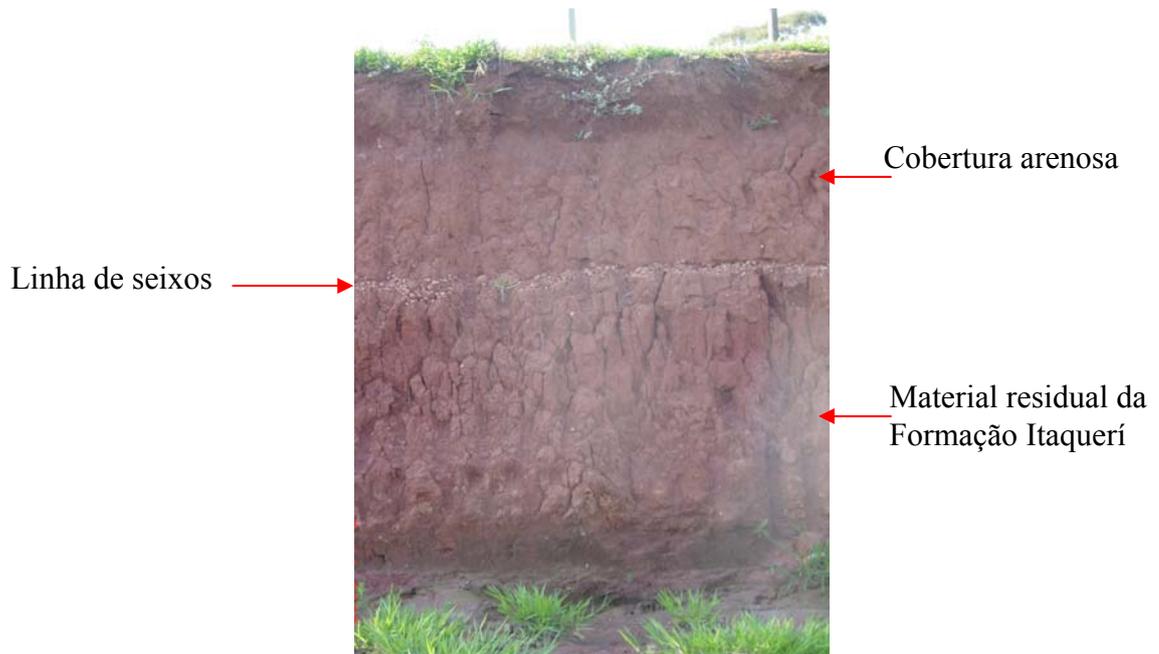


Figura 5.4- Solos residuais da Formação Itaqueri, onde tem-se linha de seixos.

#### 5.4. Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo 4)

As informações que compõem o mapa de materiais inconsolidados foram obtidas dos mesmos trabalhos que embasaram o mapa do substrato geológico, acrescido de dados obtidos de mapas pedológicos, fotointerpretação e trabalho de campo.

As unidades que compõem a região podem ser divididas em dois grandes conjuntos, quanto aos aspectos texturais, ou seja, um grupo mais arenoso associado ou tendo como fonte as rochas das Formações Botucatu e Itaqueri e outro mais argiloso correspondendo às áreas de influência das rochas básicas da Formação Serra Geral. Além dessa divisão mais ampla, foi possível compartimentar os materiais, segundo a sua gênese, em residuais e transportados e individualizar áreas com diferentes espessuras e com maiores ou menores teores de areia, dentro do grupo de materiais arenosos. A seguir, é apresentada a Tabela 5.3 com as características físicas dos materiais inconsolidados encontrados na área de estudo, após faz-se uma rápida descrição das características desses materiais e também são apresentados os resultados dos ensaios de infiltração realizados.

Tabela 5.3: Características físicas das unidades encontradas na área de estudo.

Unidade Caract.	Residuais			Transportados			
	Formação Serra Geral	Formação Botucatu	Formação Itaqueri	Arenoso I	Arenoso II e III	Aluvionar	Coluvionar
Textura	> argilosa	> arenosa	> arenosa	> arenosa	> areia- argilosa	Areia, silte e argila. Presença de matéria orgânica	Material heterogêneo
Esp. (m)	< 2	< 2	1 a 2			Variada	10 a 20
Granul.	Areia fina: 10 a 35% Silte: 20 a 45% Argila: 25 a 60%	Areia média: 70 a 80% Areia fina: 2 a 20% Argila: ≤ 10%	Areia fina: ( 60% Areia média: 2 a 20% Silte: 5 a 28% Argila: 10 a 63%	Areia fina: 60 a 80% Areia média: 5 a 25% Argila: < 10%	Areia fina: 32 a 51% Silte: 10 a 20% Argila: 30 a 45%	—	Material heterogêneo, proveniente das encostas do basalto. Ocorre mistura com areias da alteração da Formação Botucatu.
Coloração	Avermelhada a marrom	amarelada	Avermelhada	Amarelada a avermelhada	Amarelo- avermelhada	Amarela clara a cinza clara	Avermelhada
IP	20%	não-plástico	< 17%	não-plástico	—	—	—
LL	56%	—	—	—	—	—	—
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,72 a 2,92	2,61 a 2,64	2,57 a 2,80	2,62 a 2,64	2,63 a 2,67	—	—
e	0,8 a 1,59	0,51 a 0,74	0,74 a 1,06	0,54 a 0,86	0,63 a 1,58	—	—
$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,49 a 1,65	1,48 a 1,74	0,74 a 1,72	1,42 a 1,79	1,18 a 1,71	—	—
w (%)	23,4 a 31,6	8,5 a 11,5	8,70 a 25,8	9,7 a 10,7	15,7 a 24	—	—
CTC Cmol/kg	7,6 a 10,5	16,2 a 29,8	9,5 a 10,1	12,9 a 23,0	10,0 a 21,9	—	—
Coef. Perm. (cm/s)	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-3</sup>	—	—
OBS.	Não apresenta problemas com expansibili- dade	—	Costuma ocorrer nos denominados Planaltos de São Carlos	Recobre os mat. Residuais da Formação Botucatu	Observa-se conglomera- do e pedregulhos na porção basal	Ocorrência restrita na área	—
Simbologia: IP: Índice de plasticidade LL: Limite de liquidez $\rho$ : Massa específica do solo $\rho_d$ : Massa específica seca do solo					CTC: Capacidade de troca catiônica e: Índice de vazios w: Umidade natural —: dados não obtidos		

#### 5.4.1. Materiais Residuais da Formação Serra Geral

Apresentam textura predominantemente argilosa, e em menor parte aparece a areia fina. Em perfis pouco profundos, onde é possível observar uma estrutura incipiente, a presença de silte torna-se relevante.

Em geral, apresentam pouca profundidade de material inconsolidado, mas isso também varia de acordo com a estrutura e textura da rocha original.

Nesses casos apresentam areia fina entre 10 a 35%, silte entre 20 a 45%, e argila entre 25 a 60%. A coloração predominante é avermelhada a marrom, apresentando 20% de índice de plasticidade, e 56% de limite de liquidez. A massa específica dos sólidos está entre 2,72 a 2,92 g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios entre 0,80 a 1,59 (MURO, 2000).

Conforme Nishiyama (1989), a massa específica seca vai de 1,49 g/cm<sup>3</sup> a 1,65 g/cm<sup>3</sup>, e a umidade ótima encontrada no ensaio proctor normal variou de 23,4 a 31,6%. O coeficiente de permeabilidade gira em torno de 10<sup>-6</sup> a 10<sup>-3</sup> cm/s, diminuindo com a profundidade no perfil.

Dados analisados a partir de Oliveira e Prado (1984) mostram a CTC entre 7,6 e 10,5 Cmol/kg, e a composição mineralógica permite salientar que esses solos não apresentam problemas com expansibilidade.

#### **5.4.2. Materiais Residuais da Formação Botucatu**

Essa unidade apresenta pouca profundidade de material residual, mais visualizada nas proximidades de afloramentos de rochas. Sua espessura não ultrapassa dois metros.

As areias médias constituem de 70 a 80% da granulometria, areia fina entre 2 e 20%, e argila até 10%, de coloração amarelada. A massa específica dos sólidos encontrada está entre 2,61 a 2,64 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca de 1,48 a 1,74 g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios de 0,51 a 0,74 (MURO, 2000).

Conforme Nishiyama (1989), os valores de massa específica seca máxima foram de 1,83 a 1,98 g/cm<sup>3</sup>, e umidade ótima 8,5 a 11,5%. O coeficiente de permeabilidade variou de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

A CTC dessa unidade encontra-se entre 16,2 a 29,8 Cmol/kg, conforme Oliveira e Prado (1984). Mineralogicamente o quartzo é o principal constituinte (90%), sendo a fração argila representada pela caulinita.

#### **5.4.3. Materiais Residuais da Formação Itaqueri**

Sua principal área de ocorrência é nos denominados Planaltos de São Carlos. As espessuras variam de um a dois metros, com posicionamento em torno de 850 metros de altitude. A granulometria é composta de areia fina a média à argila arenosa, apresentando coloração avermelhada, com presença de pedregulho em algumas porções.

Dados geotécnicos dessa unidade mostram que a areia fina é o principal constituinte (em torno de 60%), seguido da areia média (de 2 a 20%), silte (de 5 a 28%), e argila (10 a 63,5%). Apresenta massa específica dos sólidos entre 2,57 a 2,80 g/cm<sup>3</sup>, índice de vazios entre 0,74 a 1,06, e massa específica seca entre 0,74 a 1,72 g/cm<sup>3</sup>. Nas amostras coletadas constatou-se que os limites de consistência são não plásticos, mas, conforme dados de outros autores, obteve-se até 17% de plasticidade (MURO, 2000).

A massa específica seca máxima (proctor normal) está entre 1,31 a 1,99 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a umidade ótima entre 8,70 a 25,8%, conforme Bortolucci (1983) e Zuquette (1981). O coeficiente de permeabilidade varia desde 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

A CTC dessa unidade encontra-se entre 9,5 a 10,1 Cmol/kg, conforme Oliveira e Prado (1984).

#### **5.4.4. Materiais Transportados Arenosos**

##### **Arenoso I**

Esta unidade recobre os materiais residuais da Formação Botucatu, tendo contribuição das unidades Serra Geral e Bauru, no entanto predominantemente arenoso.

Apresenta homogeneidade ao longo do perfil, e suas drenagens superficiais não são freqüentes, aparecendo muitas vezes boçorocas como as encontradas no Córrego Água Quente.

Sua coloração varia de amarelada a avermelhada e a fração predominante é a areia fina (60 a 80%), com areia média em torno de 5 a 25% e argila chegando a 10%. Os valores de massa específica dos sólidos foram de 2,62 a 2,64 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca entre 1,42 a 1,79 g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios de 0,54 a 0,86 (MURO, 2000).

Massa específica seca máxima (proctor normal) encontrada por Nishiyama (1989) foi de 1,86 a 1,97 g/cm<sup>3</sup> e umidade ótima variando de 9,7 a 10,7%. O coeficiente de permeabilidade é de aproximadamente 10<sup>-3</sup>cm/s.

Os valores de CTC variam de 12,9 a 23,0 Cmol/kg, conforme Oliveira e Prado (1984).

##### **Arenoso II e III**

Estas unidades apresentam contribuição de várias litologias. Esses materiais arenosos ocupam a porção mais elevada da área, sobre o Planalto de São Carlos. O sedimento tem predominância areno-argilosa e está assentado sobre a Formação Itaqueri, em sua maior parte, apresentando colorações amarelo-avermelhada.

A fração arenosa varia de 32 a 51% (areia fina), contendo silte (de 10 a 20%) e argila variando de 30 a 45%. É comum observar conglomerados e pedregulhos na porção basal. A massa específica dos sólidos varia de 2,63 a 2,67 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca encontra-se entre 1,18 a 1,71 g/cm<sup>3</sup>, e o índice de vazios entre 0,63 a 1,58 (Muro, 2000). A massa específica seca máxima (proctor normal) varia de 1,60 a

1,78 g/cm<sup>3</sup> e a umidade ótima entre 15,7 a 24%. O coeficiente de permeabilidade estimado foi de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-3</sup> cm/s, segundo Nishiyama (1989).

O valor da CTC, segundo Oliveira e Prado (1984) varia de 10 a 21,9 Cmol/kg.

#### **5.4.5. Materiais Transportados Aluvionares**

De ocorrência restrita na área, esta unidade compreende os materiais arenosos, argilosos, e siltosos de deposição recente, restrita às planícies aluvionares. São ricos em matéria orgânica, apresentam baixa declividade e espessuras variadas, de difícil identificação. A coloração varia na sua extensão permanecendo as tonalidades amarela clara a cinza clara.

#### **5.4.6. Materiais Transportados Coluvionares**

Os materiais desta unidade são provenientes das encostas do basalto onde ocorre a mistura com areias provenientes da alteração da Formação Botucatu. São áreas de instabilidade ocasionadas por diversos fatores, como as declividades acentuadas e a heterogeneidade do material, associado a ação antrópica. Apresentam colorações avermelhadas e espessuras variando entre 10 a 20 metros.

#### **5.4.7. Caracterização dos materiais inconsolidados quanto à infiltração**

O balanço infiltração/ escoamento superficial é uma informação importante em estudos ambientais, uma vez que este atributo do meio físico está inteiramente ligado a uma série de processos. De uma maneira geral, pode-se afirmar que quanto maior o escoamento superficial, maior a possibilidade de ocorrência de erosões e inundações. Por outro lado, áreas com altas taxas de infiltração podem facilitar a percolação de contaminantes até o lençol freático.

Em função da importância da informação sobre as características de infiltração de água nos solos e a falta destes dados em trabalhos prévios, optou-se por realizar na área de estudo o método padrão de determinação da taxa de infiltração nos solos in situ, usando o Infiltrômetro de Anel Duplo (IAD) (ASTM-D 3385-03, 2003). Para sua realização são utilizados dois anéis metálicos com 60 e 30 cm de diâmetros, cravados de forma concêntrica. Após a instalação dos anéis, inicia-se o suprimento de água com registro do volume de água infiltrado, procedimento que deve ser mantido até a estabilização da taxa de infiltração (tempo varia conforme o solo, normalmente mais que 3 horas). A Figura 5.5 mostra o esquema de montagem e execução do ensaio.



Figura 5.5: Esquema de montagem e execução do ensaio de infiltração pelo método do Anel Duplo.

A escolha dos locais para a execução do ensaio deu-se em função das diferentes espessuras e tipos de material inconsolidado, resultando em quinze pontos (Figura 5.6).

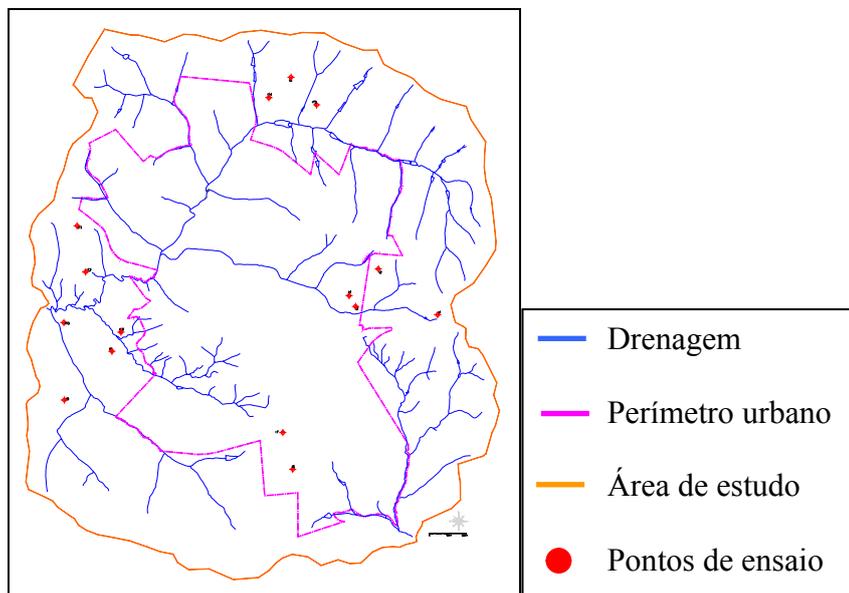


Figura 5.6: Localização dos pontos escolhidos dentro da área de estudo para o ensaio de infiltração.

A Figura 5.7 apresenta a ficha de campo utilizada durante a realização do ensaio de infiltração para anotação das leituras.

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO – DUPLO ANEL					
Data:			Foto:		
Localização:		UTM:		Bairro:	
Pto de referência:			Unidade:		
Horário de início:		Horário final:	Profundidade da amostragem deformada:		
Horário das Coletas:			Amostragem indeformada :		
DADOS CONSTANTES					
Anel	Raio (cm)	Altura de Lâmina de Água:			
<i>Externo</i>	30	Obs.:			
<i>Interno</i>	15				
MEDIDAS DO ENSAIO					
Medida	Hora	Inter temp(min)	Var. Altura Tot.	Preenchim.	Var. de Alt. Tempo
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
...					

Figura 5.7: Modelo da ficha de campo utilizada para o ensaio de infiltração.

Além do ensaio de infiltração, foi realizada a coleta de amostras deformadas (uso do trado manual) a diferentes profundidades para a obtenção da umidade natural no solo. Após o término do ensaio, foram coletadas amostras deformadas a diferentes profundidades, a fim de se determinar a umidade do solo saturado. As atividades foram posicionadas com certo afastamento de forma a evitar qualquer interferência de uma com a outra (Figura 5.8). Também foi feita amostragem indeformada (uso do anel de PVC - 7,45 x 4,65) para determinação dos índices físicos.



Figura 5.8: Posicionamento das diferentes atividades durante o ensaio de infiltração.

A seguir, é apresentado um exemplo (ponto i1) (Tabela 5.4) dos resultados dos ensaios de infiltração realizados na área de estudo:

Ponto i1 : Material Arenoso III

Tabela 5.4: Valores da umidade do solo natural e saturado.

Local: nascente Gregório		Poço: i1 (seco)		UTM: 206848,0E , 7560734,0N										
Solo: Material arenoso III		Data:												
<b>Teor de Umidade – antes do ensaio</b>														
<b>Prof. (m)</b>	sup	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,40	1,80	2,20	2,60	3,00	3,40	3,80	
<b>Wméd %</b>		11,30	9,40	10,71	13,35	18,40	22,41	23,46	23,10	17,17	24,10	27,31	24,24	23,75
<b>Teor de Umidade – depois do ensaio</b>														
<b>Prof. m</b>	sup	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,40	1,80	2,20	2,60	3,00	3,40	3,80	
<b>Wméd %</b>		41,60	20,43	23,04	27,22	26,19	26,06	30,45	27,74	17,23	41,60	20,43	23,04	27,22

Os valores de umidade do solo, natural e saturado foram plotados no gráfico (Figura 5.9), o qual representa o perfil de umidade do solo antes e depois do ensaio de infiltração.

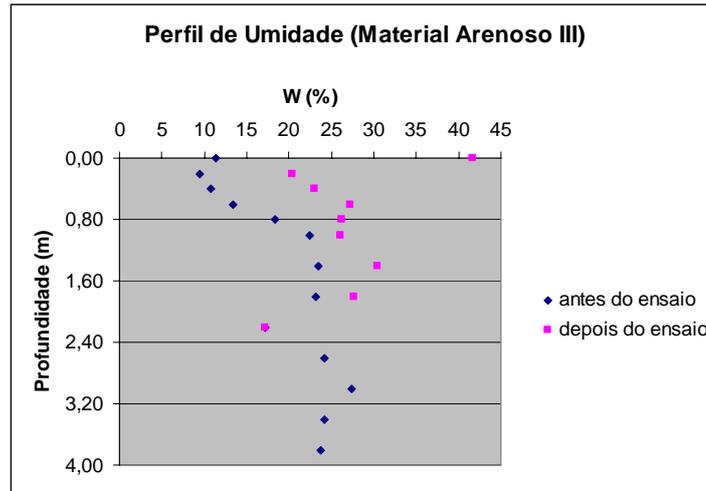


Figura 5.9: Perfil de umidade do solo natural e saturado.

Conforme Palma (2004), a condutividade hidráulica saturada foi calculada pela equação derivada da equação de Darcy:

$$k_{fs} = \frac{Q}{\left( \frac{H + Z_w}{Z_w} \right) A \cdot t}$$

Onde:

$K_{fs}$  = condutividade hidráulica saturada de campo

$Z_w$  = profundidade da frente de saturação

$A$  = área transversal do anel

$t$  = tempo entre duas leituras

$Q$  = volume de água infiltrada dentro do solo

$H$  = profundidade da água do anel quando é ensaiada a regime constante.

Abaixo é apresentada a Tabela 5.5 com as leituras feitas no ensaio de infiltração e os valores obtidos no cálculo da condutividade hidráulica utilizando a equação acima.

Na Figura 5.10 é apresentada a curva de infiltração obtida para o ponto i1, a qual mostra o comportamento do material arenoso III quando sujeito a situação de infiltração a carga constante. A infiltração inicial foi de 480,0 mm/h e, após a estabilização, foi de 150 mm/h, o que pode ser considerado alto. O valor da condutividade hidráulica neste material foi  $3,87 \cdot 10^{-5}$  m/s (após a estabilização), o que é considerado alto. Com isso, pode-se concluir que este material apresenta condições mais favoráveis à infiltração do que ao escoamento superficial.

No entanto, conhecendo-se os resultados do ensaio de infiltração, a textura (areia argilosa) e o índice de vazios (0,63 a 1,58) apresentados pelo material arenoso III, tendo em vista a localização deste ponto (próximo à nascente do Córrego Gregório), com declividades entre 5 e 10%, isto leva a concluir a fragilidade do local ao surgimento de processos erosivos. Apesar da ocupação ainda ser rural, onde se observa a preservação da mata ciliar (Figura 5.11), deve ser evitado o desmatamento no entorno em função das declividades que favorecem o escoamento superficial. As altas taxas de infiltração também alertam para o risco de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 5.5: Valores das leituras do ensaio de infiltração e de condutividade hidráulica.

$\Delta H$ (m)	Tempo (seg)	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Zw (m)	A (m <sup>2</sup> )	Kfs (m/s)	Tempo (min)	$\Delta H$ (mm)	Tempo (h)	Taxa Infiltração (mm/h)
-	0	0	0	0	0,07065	0,00000000	0	0	0	0
0,008	60	0,13	0,00000942	1,80	0,07065	0,00012435	1	8,0	0,017	480,000
0,013	120	0,13	0,00000765	1,80	0,07065	0,00010104	2	13,0	0,033	390,000
0,016	180	0,13	0,00000628	1,80	0,07065	0,00008290	3	16,0	0,050	320,000
0,020	240	0,13	0,00000589	1,80	0,07065	0,00007772	4	20,0	0,067	300,000
0,024	300	0,13	0,00000565	1,80	0,07065	0,00007461	5	24,0	0,083	288,000
0,028	360	0,13	0,00000550	1,80	0,07065	0,00007254	6	28,0	0,100	280,000
0,030	420	0,13	0,00000505	1,80	0,07065	0,00006662	7	30,0	0,117	257,143
0,034	480	0,13	0,00000500	1,80	0,07065	0,00006606	8	34,0	0,133	255,000
0,038	540	0,13	0,00000497	1,80	0,07065	0,00006563	9	38,0	0,150	253,333
0,041	600	0,13	0,00000483	1,80	0,07065	0,00006373	10	41,0	0,167	246,000
0,056	900	0,13	0,00000440	1,80	0,07065	0,00005803	15	56,0	0,250	224,000
0,070	1200	0,13	0,00000412	1,80	0,07065	0,00005440	20	70,0	0,333	210,000
0,083	1500	0,13	0,00000391	1,80	0,07065	0,00005161	25	83,0	0,417	199,200
0,096	1800	0,13	0,00000377	1,80	0,07065	0,00004974	30	96,0	0,500	192,000
0,109	2100	0,13	0,00000367	1,80	0,07065	0,00004841	35	109,0	0,583	186,857
0,121	2400	0,13	0,00000356	1,80	0,07065	0,00004702	40	121,0	0,667	181,500
0,146	3000	0,13	0,00000344	1,80	0,07065	0,00004539	50	146,0	0,833	175,200
0,170	3600	0,13	0,00000334	1,80	0,07065	0,00004404	60	170,0	1,000	170,000
0,192	4200	0,13	0,00000323	1,80	0,07065	0,00004264	70	192,0	1,167	164,571
0,214	4800	0,13	0,00000315	1,80	0,07065	0,00004158	80	214,0	1,333	160,500
0,236	5400	0,13	0,00000309	1,80	0,07065	0,00004076	90	236,0	1,500	157,333
0,258	6000	0,13	0,00000304	1,80	0,07065	0,00004010	100	258,0	1,667	154,800
0,280	6600	0,13	0,00000300	1,80	0,07065	0,00003957	110	280,0	1,833	152,727
0,302	7200	0,13	0,00000296	1,80	0,07065	0,00003912	120	302,0	2,000	151,000
0,324	7800	0,13	0,00000293	1,80	0,07065	0,00003874	130	324,0	2,167	149,538

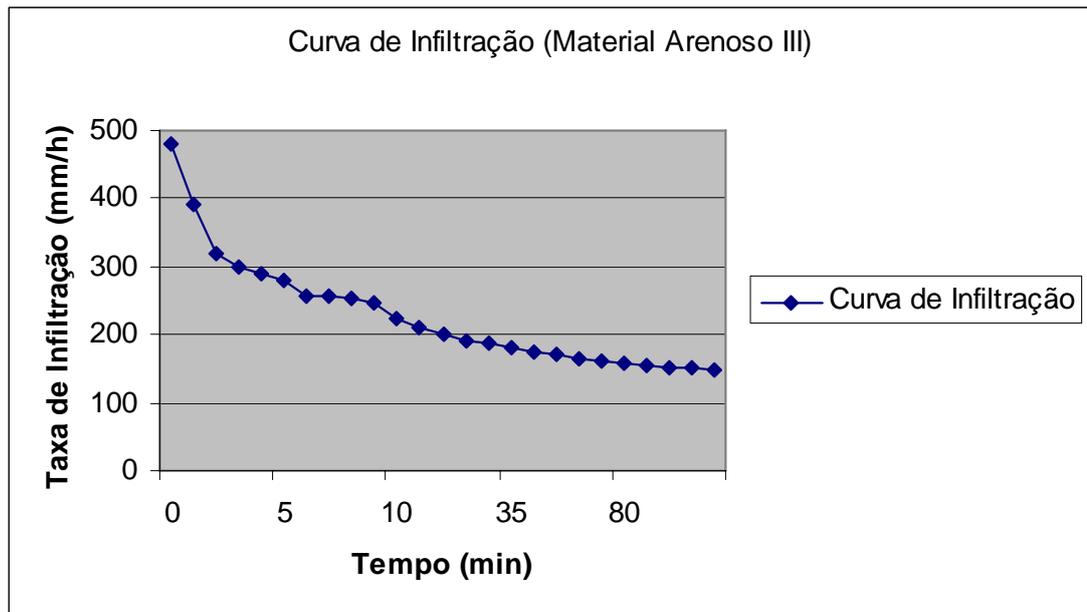


Figura 5.10: Curva de Infiltração.



Figura 5.11: Localização do ponto i1 - ensaio de infiltração. Nascente do Córrego Gregório com mata ciliar preservada. Ocupação rural.

Na Tabela 5.6 são apresentados, de forma simplificada, os resultados dos demais pontos onde foram realizados ensaios de infiltração na área de estudo. Os resultados completos são apresentados no Anexo 6.

Tabela 5.6: Resultados dos ensaios de infiltração realizados na área de estudo.

Ponto	Kfs (m/s)	Material Inconsolidado	Tx. Inf. (mm/h)
<b>i1</b>	$3,87.10^{-5}$	arenoso III	149,538
<b>i2</b>	$6,30.10^{-5}$	arenoso III	248,000
<b>i3</b>	$1,62.10^{-5}$	residual bauru	67,667
<b>i4</b>	$1,30.10^{-4}$	arenoso III	536,842
<b>i5</b>	$1,01.10^{-4}$	arenoso III	420,000
<b>i6</b>	$2,27.10^{-5}$	arenoso II	142,714
<b>i7</b>	$1,26.10^{-4}$	arenoso I	495,231
<b>i8</b>	$1,13.10^{-4}$	arenoso I	432,500
<b>i9</b>	$3,47.10^{-5}$	arenoso I	151,800
<b>i10</b>	$9,081.10^{-5}$	arenoso I	354,000
<b>i11</b>	$2,40.10^{-5}$	arenoso III	108,400
<b>i12</b>	$1,06.10^{-5}$	residual magmatitos básicos	45,429
<b>i13</b>	$1,57.10^{-5}$	coluvionar magmatitos básicos	78,000
<b>i14</b>	$4,55.10^{-5}$	arenoso III	194,571
<b>i15</b>	$1,51.10^{-4}$	arenoso III	624,375

Nos demais locais onde foram realizados ensaios de infiltração e tem-se a presença dos materiais arenosos (i2, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i14, i15), pode-se observar que a taxa de infiltração variou entre 100 mm/h e 620 mm/h após a estabilização da infiltração e a condutividade hidráulica calculada variou de média a alta.

No ponto i3, onde tem-se o material Residual do Itaquerí, a condutividade hidráulica saturada foi de  $1,62 \cdot 10^{-5}$  m/s e a taxa de infiltração foi de 68 mm/h. Tais valores, associados às declividades existentes no local (entre 10 e 15%) que favorecem o escoamento superficial, à proximidade da drenagem e ao tipo de ocupação (loteamento em processo de instalação) formam um conjunto de fatores que tornam a área suscetível aos processos erosivos, principalmente se a vegetação ciliar for retirada.

Os pontos i12 e i13 estão localizados sobre o material Residual dos Magmatitos Básicos e material Coluvionar dos Magmatitos Básicos, respectivamente. A condutividade hidráulica saturada para os dois foi considerada média ( $10^{-5}$  m/s) e as taxas de infiltração foram de 45 mm/h no primeiro e de 78 mm/h no segundo. Com estes resultados isolados, pode-se dizer que a suscetibilidade à erosão é baixa. No entanto, a região onde foram localizados estes pontos apresenta declividades altas (aproximadamente 10%), está próxima de drenagens e a ocupação residencial vem ocorrendo de forma inadequada, o que causa certa fragilidade ao surgimento de processos erosivos.

## 5.5. Mapa de Landforms

O mapa de landforms, de acordo com Lollo (1996), representa uma forma de zoneamento do meio físico que utiliza a técnica de avaliação de terreno e que consegue associar suas unidades de formas de relevo em função do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados presentes.

Neste estudo foram adotados os resultados obtidos por Muro (2000), que separou o terreno em 5 unidades, mas principalmente em dois grandes grupos: os morros suaves e os vales, visto que os vales possuem pouca profundidade de material inconsolidado, e os morros suaves possuem maior profundidade de material inconsolidado. O mapa é apresentado na Figura 5.12.

As unidades foram assim descritas:

### Morrotos Suaves

Apresenta-se com declividades variando de 2 a 10%, e foi definida por apresentar grande homogeneidade das formas de relevo por toda a superfície da área estudada, com profundidades variando de 10 a 20 metros.

### Platôs

Compreendem poucas áreas, com declividades que vão até 5%, e que apresentam grandes espessuras de material inconsolidado, maiores que 10 metros, e raros canais de drenagem.

### Vales Abertos

Constituem os grandes vales da área estudada aparecendo em menor número os vales fechados. Geralmente são constituídos de encostas côncavas e convexas, ambas suaves, com declividades inferiores a 15%, e com profundidades menores que 10 metros.

### Morrotos com Topos Arredondados

Aparece em menor proporção na área, em pontos isolados, geralmente sobre os magmatitos basálticos, em forma abaulada.

Apresenta declividades maiores que 20% e profundidades em torno de 5 metros.

### Encostas Íngremes

Esta unidade representa as encostas íngremes côncavas com declividades superiores a 20%, que apresentam profundidades de material inconsolidado menores que 2 metros.

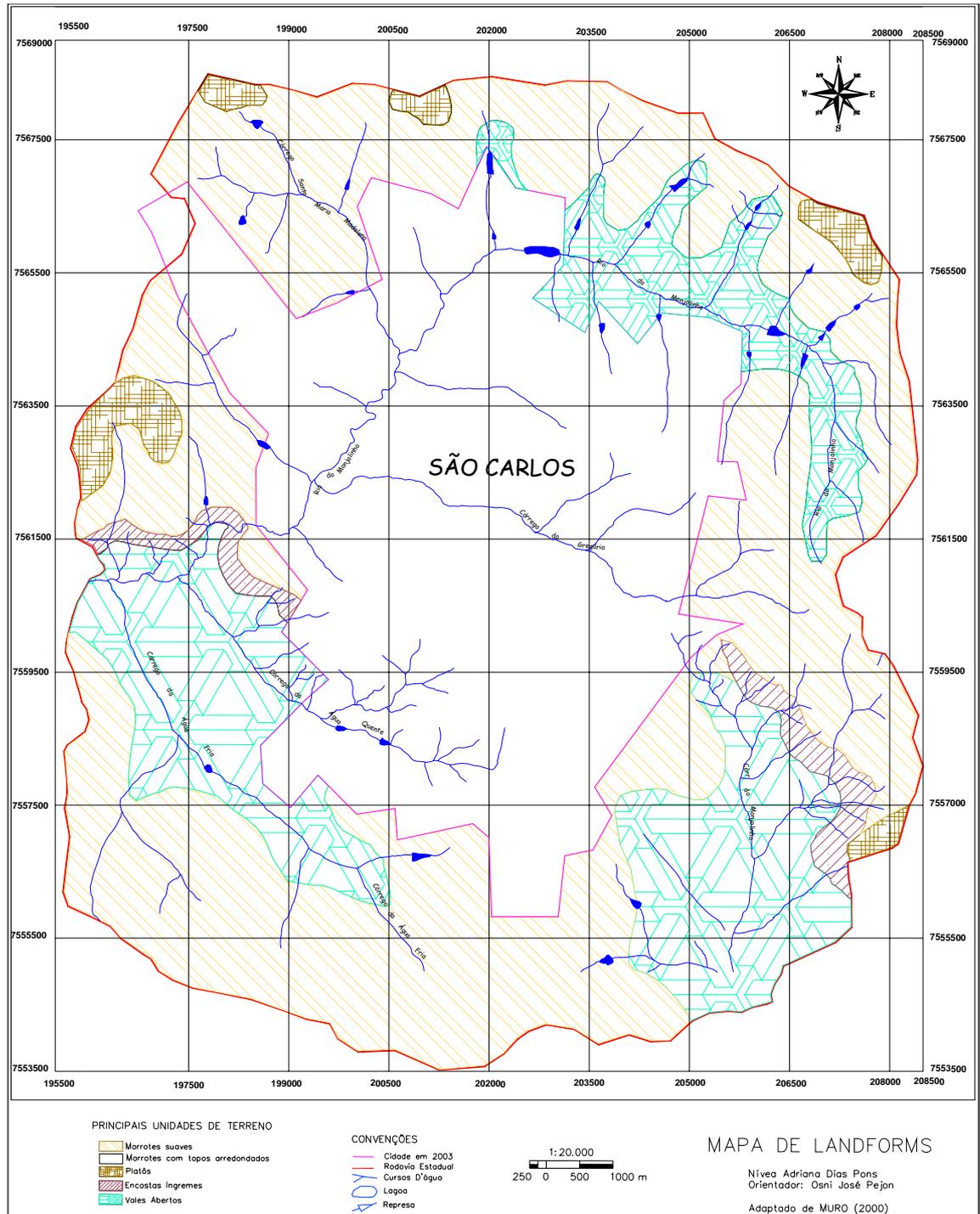


Figura 5.12: Mapa de Landforms adotado de Muro (2000) para a área de estudo.

## 5.6. Carta de Declividades (Anexo 5)

A carta de declividades é um documento cartográfico de grande importância para o estudo de uma área (urbana ou rural) do ponto de vista geotécnico, pois fornece informações sobre a inclinação do terreno de maneira prática e de fácil uso.

A carta de declividades pode ser confeccionada por meios convencionais (manualmente) ou por meios computadorizados (uso de algoritmos), através do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A escolha da forma de elaboração da carta irá depender da finalidade e do tempo disponibilizado, devendo-se levar em conta as vantagens e desvantagens de cada método (Tabela 5.7). Neste trabalho, optou-se pela elaboração da carta de declividades por meios computadorizados, onde utilizou-se o software *Surfer 8.0*.

Tabela 5.7- Comparação entre vantagens e desvantagens na construção da carta de declividades por meios convencionais e computacionais. Fonte: Amorin (2003).

	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<i>Meios Convencionais (construção e uso de ábacos)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer um período de tempo mais curto na confecção quando a carta possuir poucas classes de declividades.</li> <li>- A carta é sempre construída com sucesso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O aumento no número de classes de declividades acresce o tempo de construção da carta.</li> <li>- O usuário não pode modificar o número de classes de declividades uma vez iniciado o processo de confecção da carta.</li> </ul>
<i>Meios Computacionais (utilização de algoritmos por SIG's)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O aumento no número de classes de declividades não acresce o tempo de construção da carta.</li> <li>- O usuário além de poder modificar o número de classes de declividades uma vez iniciado o processo de confecção da carta, também pode construir novas cartas com outros intervalos de classes de modo instantâneo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer um período de tempo maior na confecção principalmente na digitalização da topografia e definição do melhor MNT.</li> <li>- Depende da experiência do usuário na construção de um bom MNT.</li> <li>- O produto final pode não representar a realidade.</li> </ul>

A maioria dos algoritmos, nos SIG, responsáveis pela geração da declividade exigem uma grande quantidade de informações altimétricas. Basicamente, os SIG utilizam dados extraídos de arquivos matriciais (malha regular) dos modelos numéricos de terreno (MNT), os quais são frutos da interpolação de arquivos vetoriais que contém curvas de nível e pontos cotados (AMORIN, 2003).

A preparação da carta de declividades partiu da transformação do arquivo dxf, contendo as cotas das curvas de nível e dos pontos, para a forma xyz, utilizando o freeware *DXF2XYZ 1.3* ([www.guthcad.com.au](http://www.guthcad.com.au)).

No software *Surfer 8.0*, o arquivo xyz foi convertido para o formato de planilha (dat). A partir desse procedimento, os campos que compõem a tabela registram informações relativas à longitude, a latitude e a altitude de cada ponto digitalizado.

O software *Surfer 8.0* foi escolhido para geração da carta de declividades, pois este reúne um grande número de algoritmos de interpolação com diversas opções, são eles: Inverso da Potência da Distância (*Inverse Distance to a Power*), Krigagem (*Kriging*), Mínima Curvatura (*Minimum Curvature*), Método Modificado de Shepard (*Modified Shepard's Method*), Vizinho Natural (*Natural Neighbor*), Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbor*), Regressão Polinomial (*Polynomial Regression*), Função de Base Radial (*Radial Basis Fuction*) e Triangulação com Interpolação Linear (*Triangulation with Linear Interpolation*).

Para o resultado obtido e apresentado no Anexo 5, foi realizada a interpolação do tipo Krigagem, a qual forneceu melhores resultados, em função do grande número de pontos digitalizados. A partir da grade gerada (MDT), no formato grid, foi possível elaborar a carta de declividades.

A definição dos intervalos e a quantidade de classes de declividades adotadas foram baseadas em Zuquette (1981). A fim de obter-se a melhor representação da declividade da área, o limite superior foi modificado, conforme é apresentado abaixo:

- Classes adotadas de porcentagem de inclinação, relativas à instalação de equipamentos urbanos:

- 0 a 2% - ótima
- 2 a 5% - muito boa
- 5 a 10% - boa
- 10 a 15% - razoável – com restrições
- > 15% - com restrições

### **5.7. Mapa de Uso e Ocupação (Anexo 11)**

O mapa de uso e ocupação é um documento cartográfico que representa a disposição espacial das atividades desenvolvidas sobre o meio físico na área de estudo e a distribuição dos meios biológico e antrópico.

Para a elaboração deste mapa foi utilizada a imagem Ikonos (PSM,1m) de junho de 2004 referente à área de estudo, sendo processada no software *Envi 4.1*.

O *Envi 4.1* possui dois critérios para a classificação da imagem de satélite: não supervisionado e supervisionado. O primeiro é geralmente utilizado quando não se possui informação a respeito da área estudada, ou quando se deseja obter uma classificação preliminar a fim de auxiliar na busca de informações para uma futura

classificação. O segundo critério, a classificação supervisionada, é utilizado quando se possui informações sobre a área de estudo.

Nesta pesquisa, primeiramente, realizou-se a classificação não supervisionada, a qual resultou em uma imagem confusa e desorganizada em relação ao produto esperado.

Na seguinte tentativa, realizou-se a classificação supervisionada, onde foram traçadas amostras de treinamento, com base no trabalho de Aguiar (1989) e em visitas a campo. No entanto, o resultado obtido continuou não atendendo às expectativas. Foram definidas oito formas de uso e/ou ocupação na área de estudo, descritas abaixo:

- Culturas perenes: representadas pelas plantações de café e citrus;
- Culturas anuais: representadas pelas plantações de milho, soja, horticulturas;
- Cana-de-açúcar
- Silvicultura ou reflorestamento: representada pelas áreas de plantação de eucalipto e pinus;
- Vegetação nativa: representada pelas áreas com presença de mata, cerrado ou capoeira;
- Pasto ou área não-cultivada: representada pelos campos de pastagem ou áreas de desmatamento;
- Área residencial ou industrial: representada pelas áreas urbanas, com construções de loteamentos e indústrias;
- Área de mineração: representada pelas áreas onde são desenvolvidas atividades de mineração;

Sendo assim, decidiu-se delimitar os polígonos de uso e ocupação existentes na área de estudo através de interpretação visual, a partir do reconhecimento físico de objetos, tendo em vista a facilidade que a resolução da imagem Ikonos proporciona para a identificação e delimitação das regiões de interesse.

A etapa seguinte constituiu a classificação pelo Método da Máxima Verossimilhança, a fim de ajustar os limites dos polígonos traçados. O *Envi 4.1* apresenta seis tipos de algoritmos para a classificação supervisionada, são eles: Método do paralelepípedo, Método da distância mínima, Método da máxima verossimilhança, Mapeador de ângulo espectral, Classificação por distância de Mahalanobis e Classificação por “Binary Encoding”, devendo ser adotado aquele que fornecer a classificação do maior número de pixels da imagem.

A última etapa envolveu a importação do arquivo gerado no *Envi 4.1*, no formato TIFF, por parte do *Autocad Map 3.0*, e a edição do mapa de uso e ocupação, o qual é apresentado no Anexo 11.

A distribuição das classes do mapa gerado é apresentada na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Distribuição das classes para o Mapa de Uso e Ocupação.

<b>Classe de uso e ocupação</b>	<b>Total de área ocupada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual de área ocupada (%)</b>
Culturas perenes	0,95	0,60
Culturas anuais	3,44	2,15
Cana-de-açúcar	21,80	13,62
Silvicultura ou reflorestamento	11,65	7,28
Vegetação nativa	25,40	15,87
Pasto ou área não-cultivada	49,33	30,84
Área residencial ou industrial	47,32	29,57
Área de mineração	0,11	0,07
<b>TOTAL</b>	<b>160,0 km<sup>2</sup></b>	<b>100,0 %</b>

## **6. GERAÇÃO DE ORTOFOTOS E TRATAMENTO DA IMAGEM IKONOS**

---

### **6.1. Geração das Ortofotos**

Para a geração das ortofotos é necessária uma série de procedimentos intermediários, que envolve a obtenção de uma base topográfica confiável e em escala compatível, a geração de modelo digital do terreno (MDT) e uso de softwares específicos.

Neste trabalho buscou-se testar a utilização de métodos de geração de ortofotos que possam ser acessíveis a custo baixo e não utilizem equipamentos sofisticados de difícil obtenção.

Assim sendo, utilizou-se as fotos aéreas em papel, escala 1:8.000, de 1998, compradas da Empresa Aeroconsult S.A., a qual realizou o levantamento aéreo. A área de cobertura deste levantamento não abrangeu toda a área de estudo, somente o núcleo urbano, em função da sua finalidade que era atualizar o traçado de ruas e edificações da cidade.

Para a transformação das fotos para imagens digitais foi utilizado scanner ScanMaker 9800XL, de alta resolução (não fotogramétrico), com densidade ótica máxima de 3,7 e resolução de 1600x3200 dpi e pixel de 16x8  $\mu\text{m}$ . Tanto para a orientação interna, quanto para a orientação externa e geração das ortofotos foi utilizado o software *Envi 4.1*, o qual possui a ferramenta para a ortocorreção das fotografias aéreas.

A finalidade principal em se utilizar as ortofotos foi obter informações das degradações do meio físico, como área, localização, extensão, distância das ocupações urbanas ou de drenagens, etc., que seriam de difícil obtenção em campo.

Para a execução do processo foram necessárias as seguintes etapas apresentadas na Tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Etapas do processo de geração de ortofotos.

<b>Etapas</b>	<b>Observação</b>
Obtenção das coordenadas planimétricas e altimétricas de pontos de apoio	uso de GPS Leica SR9400 – Visor C333. Processamento no software <i>TrackMaker Pro</i> .
Transformação das fotografias aéreas para a forma digital	uso de scanner ScanMaker9800XL, com alta resolução
Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) no software <i>Envi 4.1</i>	a partir das curvas de nível das cartas topográficas, esc. 1:10.000, digitalizadas. Método de interpolação utilizado: triangulação.
Geração de cada ortofoto no software <i>Envi 4.1</i>	para cada pixel da imagem associa-se uma altitude a partir da interpolação local de elementos do MDT. Usando as coordenadas do pixel, sua altitude interpolada e os elementos de orientação interior e exterior da imagem, calcula-se a projeção deste pixel na imagem original e interpola-se o seu tom de cinza (ou cor), atribuindo-se este valor ao pixel ortofotograma.
Confecção do mosaico ortorretificado da área no software <i>Envi 4.1</i>	as ortofotos são unidas e formam uma ortofotocarta.

### 6.1.1. Obtenção das coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos de apoio

Primeiramente, foi feito o planejamento dos pontos a serem coletados em campo, avaliando-se a visualização do ponto na foto e as condições de acesso no campo.

No levantamento dos pontos de apoio foi utilizado o GPS Leica SR9400 – Visor C333 e o processamento foi feito no software *TrackMaker Pro*. O método de levantamento GPS “estático” foi adotado para a obtenção das coordenadas. Cada ponto foi ocupado por 30 minutos e seus dados registrados (Figura 6.1). A escolha dos pontos foi feita inicialmente com base na identificação e posição de cada ponto nas fotografias e confirmada por inspeção de campo para verificar as condições de acesso e conveniência para o levantamento GPS. Como referência foi utilizado o ponto localizado no prédio do departamento de Transportes da EESC-USP, identificado pela sigla STTU.

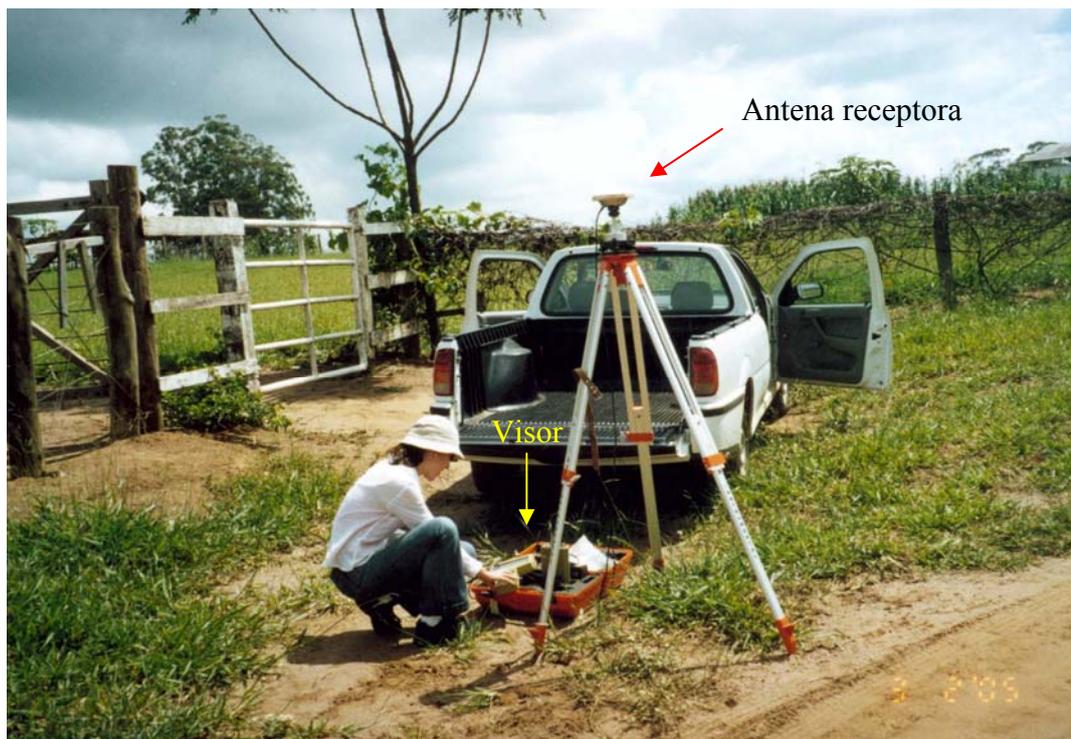


Figura 6.1: Coleta das coordenadas do ponto de controle utilizando GPS Leica SR9400 e Visor C333.

### 6.1.2. Modelo digital do terreno (MDT)

Conforme INPE (2003), um modelo digital de terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real.

No processo de modelagem numérica de terreno podemos distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

A aquisição dos dados deu-se através da digitalização das curvas de nível do mapa topográfico, escala 1:10.000 (Anexo 1).

A partir das cotas associadas a cada ponto  $x$  e  $y$  do terreno, existem algoritmos que criam uma grade regular desses pontos. Depois de gerada a grade regular (5x5m), utilizando o método de interpolação *triangulação*, no software *Envi 4.1*, foi criado o Modelo Digital do Terreno. A fim de obter um produto com maior precisão, o software permite fazer a reamostragem do MDT para pixel de 1x1m. A Figura 6.2 mostra o MDT gerado para a área de estudo na cidade de São Carlos (SP).

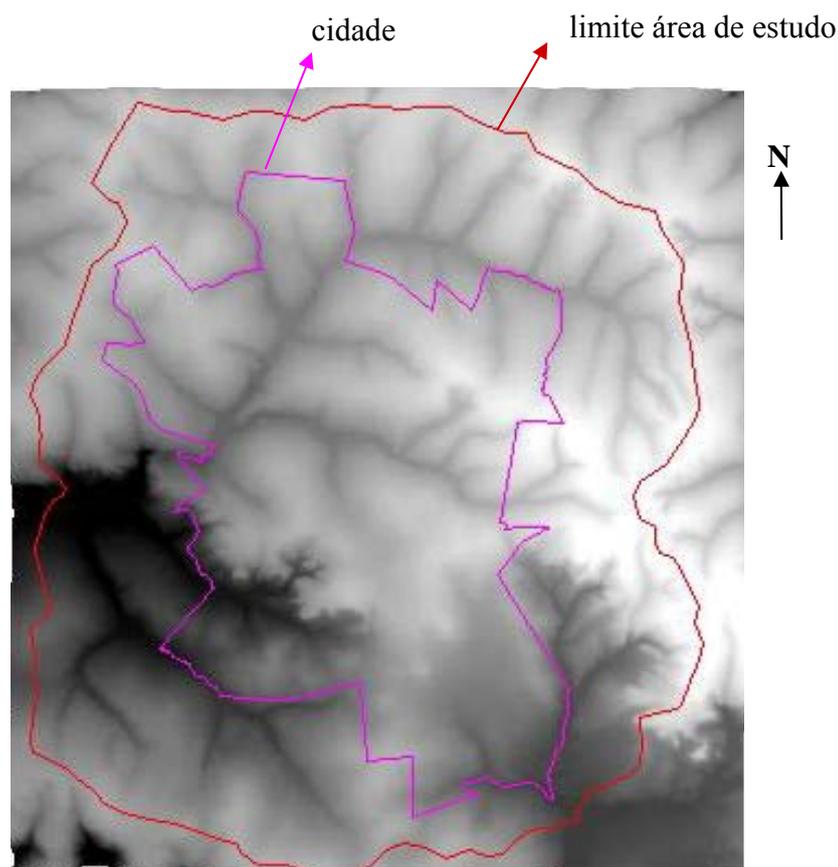


Figura 6.2: MDT da área de estudo (área urbana e de expansão) na cidade de São Carlos (SP) gerado no software *Envi4.1*.

No MDT, as gradações topográficas do relevo são perceptíveis através de tons de cinza, onde o preto corresponde a menor altimetria e as tonalidades mais claras indicam, progressivamente, as áreas mais elevadas. Ele serve de base para elaboração por computador de uma série de produtos cartográficos como, por exemplo, a carta de declividades.

Na etapa de elaboração das ortofotos, a partir deste modelo foi interpolado um valor de altitude para cada pixel da fotografia aérea. A exatidão final da ortofoto depende da qualidade do MDT, pois os erros do MDT se propagam para a ortofoto em forma de erro planimétrico.

### 6.1.3. Processo de obtenção da ortofoto

As fotografias aéreas do ano de 1998, na escala 1:8.000, foram transformadas para a forma digital através do scanner ScanMaker 9800XL, na resolução de 1000 dpi, com o tamanho do pixel igual a 25 $\mu$ m, em tons de cinza.

O sistema operacional utilizado foi Windows XP e o software adotado para a geração das ortofotos foi o *Envi 4.1*.

Primeiramente, cada foto foi importada para o software *Envi*, sendo aberta na tela (Figura 6.3) para o início do processo.



Figura 6.3: Tela de apresentação da fotografia aérea a ser ortorretificada.

### **Orientação Interna**

Na orientação interior foram inseridas as coordenadas das marcas fiduciais. Os dados da câmara foram obtidos do certificado de calibração 10/2000, fornecido pela empresa Aeroconsult S.A. A Figura 6.4 apresenta a tela onde foi feita a inserção dos pontos e a associação dos mesmos à imagem.

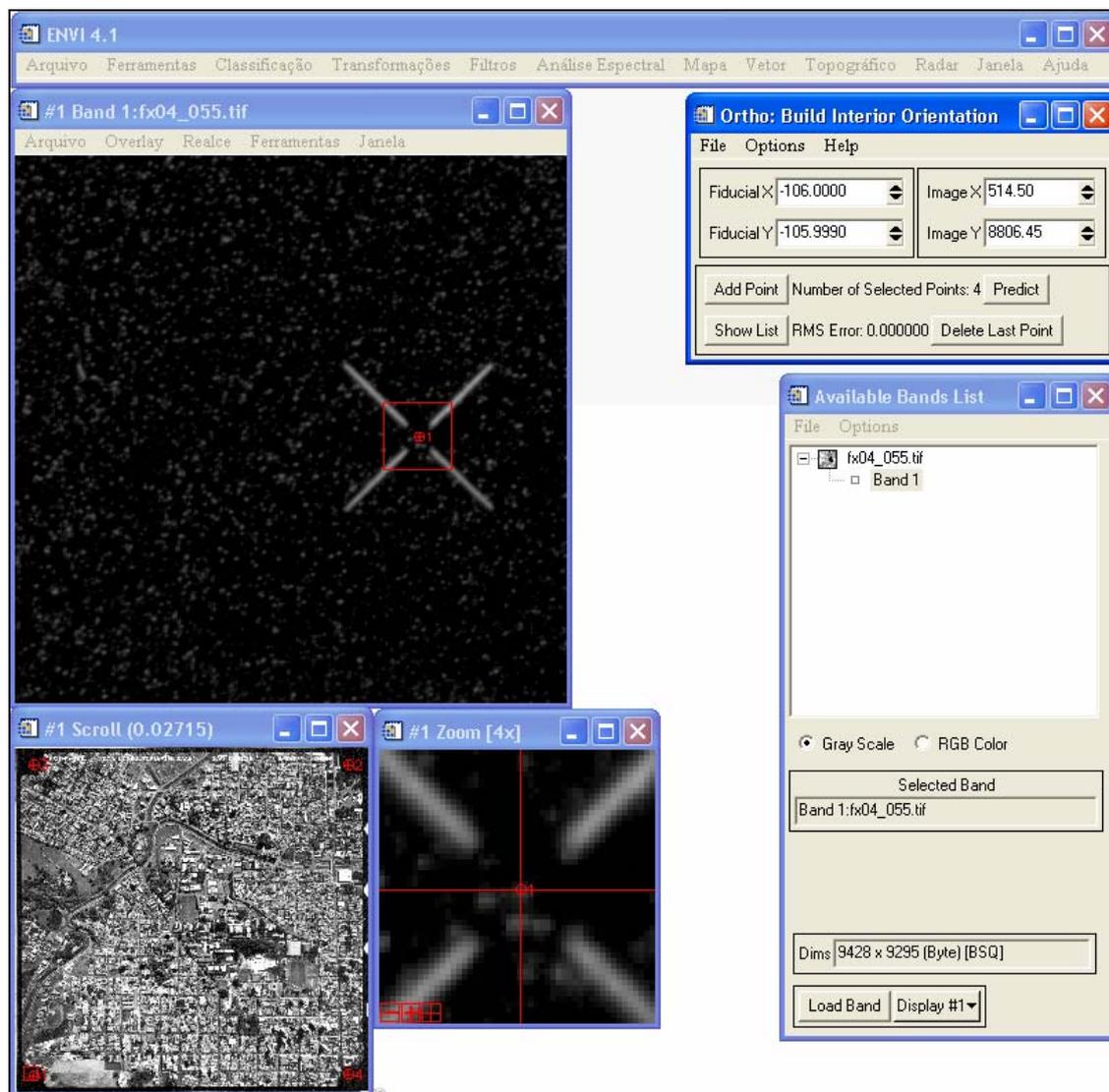


Figura 6.4: Tela de inserção das coordenadas das marcas fiduciais - etapa de orientação interna da foto.

### Orientação Externa

Determinaram-se as coordenadas UTM de 5 pontos utilizando GPS (Global Positioning System), necessários para o apoio e controle da orientação externa de cada fotografia aérea (Figura 6.5). Os pontos foram escolhidos de acordo com sua localização e perfeita identificação nas fotografias, bem como das características de acesso e conveniência para o levantamento com GPS. Em função de se tratar de área urbana, a seleção dos pontos estava condicionada a locais abertos, onde não houvesse obstrução do sinal a ser captado pelo GPS.

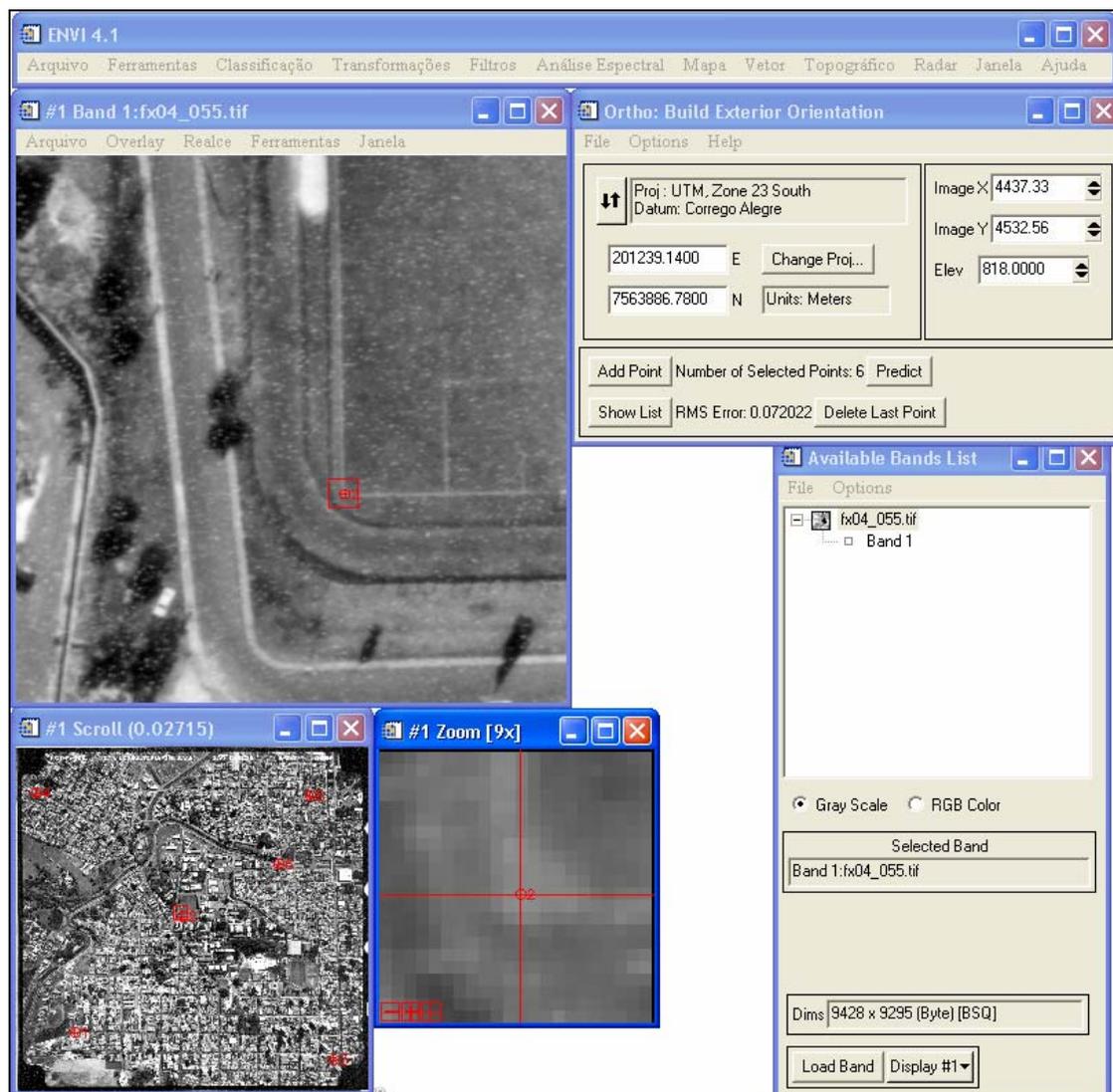


Figura 6.5: Tela de associação dos pontos de apoio à imagem – etapa de orientação externa da foto.

A lista dos pontos de controle é mostrada na janela “Ortho: Exterior Orientation GCP List”, com um número de identificação, a localização fiducial correspondente, localização do pixel e o erro RMS (“Root Mean Square Error”).

Conforme Envi (2004), o erro RMS ou erro médio quadrático é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais. O erro RMS é estimado tomando-se uma amostra dos valores calculados e comparando-a com seus valores reais. As diferenças entre elas são elevadas ao quadrado e somadas. A soma é então, dividida pelo número de medidas, para que se obtenha a média cuja raiz quadrada fornece uma medida característica de erro na mesma unidade das medidas originais. O erro RMS é diretamente comparável ao conceito de desvio padrão.

$$\text{RMS}_{\text{error}} = [(x_1 - x_{\text{org}})^2 + (y_1 - y_{\text{org}})^2]^{1/2}$$

Onde:

$x_1$ : Coordenada de linha calculada na imagem não-registrada

$y_1$ : Coordenada de coluna calculada na imagem não-registrada

$x_{\text{org}}$ : Coordenada original de linha do GCP na imagem

$y_{\text{org}}$ : Coordenada original de coluna do GCP na imagem

O erro RMS é mostrado para cada ponto, sendo calculado com base em polinômio de primeira ordem, e indica quais dos pontos estão na posição correta (se o erro é muito grande, pode-se ter um erro de localização no apontamento do ponto na imagem). A Figura 6.6 mostra a janela “Ortho: Exterior Orientation GCP List” com as informações da orientação externa da foto. Para a execução deste processo é recomendado um erro RMS, no máximo, igual a 0,06.

Se, após o posicionamento dos pontos de controle na foto, o erro RMS for superior a 0,06, é possível, na janela “Ortho: Exterior Orientation GCP List”, deletar ou simplesmente desligar (função *on/off*) o ponto. Ainda tem-se a possibilidade da ferramenta *Predict* na janela “Ortho: Build Exterior Orientation”, que localiza o ponto na imagem a partir da coordenada do ponto fornecida. O ajustamento do valor do RMS pode ser realizado para todos os pontos de controle, sendo que nesta pesquisa, procurou-se manter o erro RMS aproximado do valor recomendado.



Figura 6.6: Tela com as informações dos pontos de controle (número de identificação, localização fiducial correspondente, localização do pixel e erro (RMS)).

### Ortorretificação

Depois de feita, na ordem, a orientação interna e a orientação externa da foto, foi gerada a ortofoto que é a fotografia aérea sem distorção radial. Nesta etapa, para cada pixel da imagem, o software associa uma altitude a partir da interpolação local de elementos do MDT. Com as coordenadas do pixel, sua altitude interpolada e os elementos de orientação interior e exterior da imagem, foi calculada a projeção deste pixel na imagem original e interpolado o seu tom de cinza, atribuindo-se este valor ao pixel da ortofoto. O arquivo da imagem da ortofoto foi salvo no formato TIFF. A Figura 6.7 mostra a fotografia aérea antes da ortorretificação e depois.



(a) (b)  
Figura 6.7: Fotografias aéreas antes e depois da ortorretificação.  
(a) Fotografia aérea original. (b) Fotografia aérea ortorretificada.

#### 6.1.4. Mosaico das fotografias aéreas ortorretificadas

Depois de feita a ortorretificação de todas as fotos do levantamento aéreo que pertenciam à área de estudo, foi gerado o mosaico, também no software *Envi 4.1*. Para as imagens georreferenciadas, conforme Envi (2004), o sistema ajusta o tamanho do pixel de saída àquele do pixel da imagem de mais alta resolução e reamostra, automaticamente, as imagens de resolução mais baixa para adequá-las à mosaicagem.

A Figura 6.8 mostra o mosaico das ortofotos importado no software *AutoCad 2004* como imagem raster, no formato TIFF, onde foram sobrepostos os vetores das degradações observadas na cidade, das drenagens, do perímetro urbano e da área de estudo. Este mosaico é apresentado no Anexo 9.

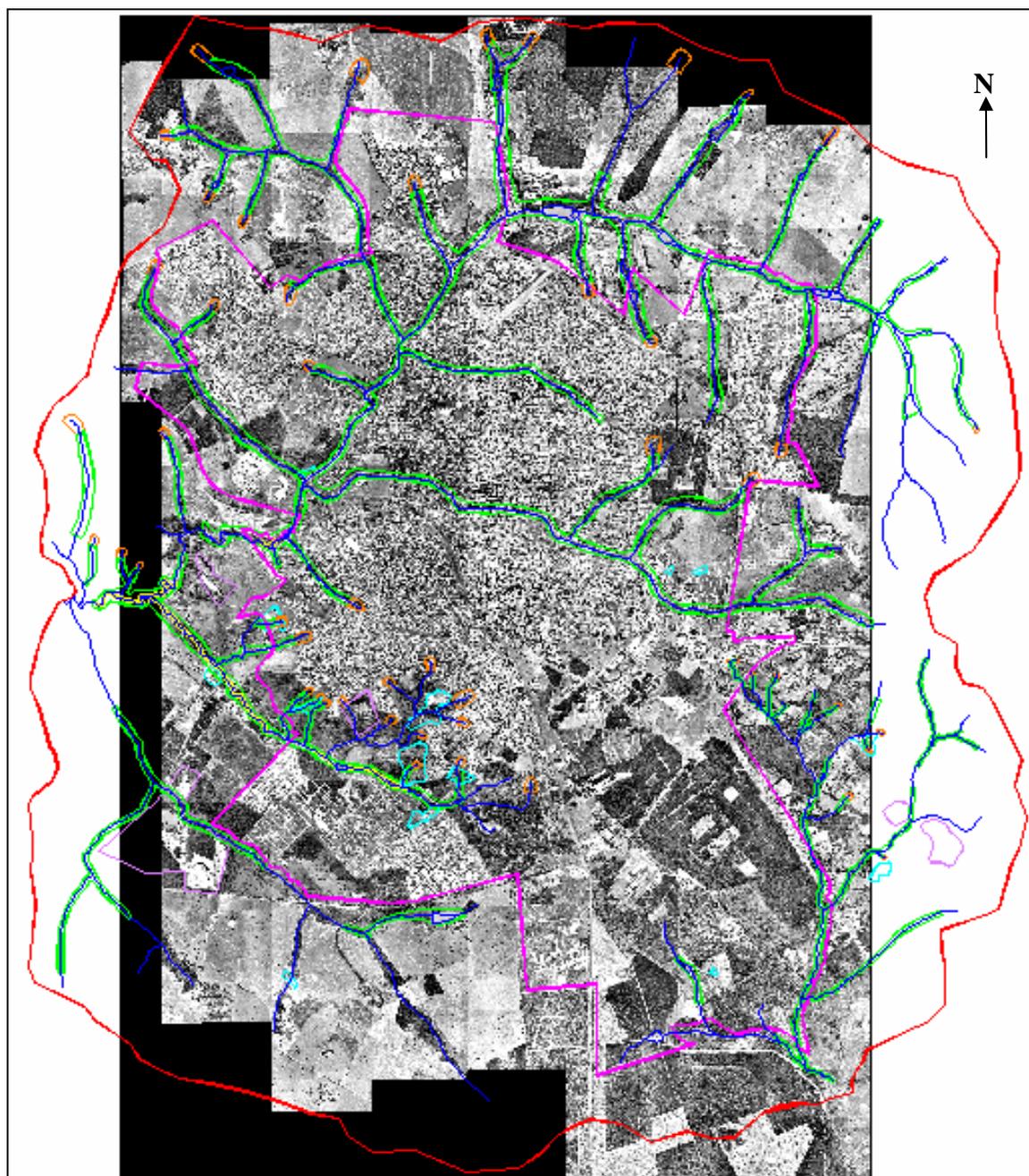


Figura 6.8: Mosaico das fotografias aéreas ortorretificadas com sobreposição dos vetores das degradações, drenagens (azul), perímetro urbano (magenta) e limite da área de estudo (vermelho).

No mosaico apresentado no Anexo 9, pode-se perceber o erro planimétrico gerado devido a algumas falhas no processo, comentadas a seguir.

### **6.1.5. Fontes de erros resultantes no processo de ortorretificação das fotografias aéreas**

O procedimento adotado para a geração das ortofotos visou reduzir os custos e tornar o produto final acessível aos usuários. No entanto, alguns problemas foram encontrados ao final, os quais referem-se aos erros geométricos medidos nas ortofotos. Tais erros poderiam ser minimizados adotando-se materiais e equipamentos a custos mais elevados do que se propôs.

Entre as fontes de erros verificadas estão:

- Na preparação do projeto: o escaneamento de fotografias aéreas em papel, utilizando scanner de alta resolução, porém não fotogramétrico, o que gera distorções;
- Na etapa de orientação externa: a dificuldade encontrada em localizar com precisão na foto, o pixel correspondente à tomada do ponto de controle em campo.
- Na ortorretificação: a associação do MDT gerado a partir da escala 1:10.000, menor do que a escala das fotografias aéreas (1:8.000), não foi considerada totalmente apropriada, porém seu uso foi necessário em função de ser o documento topográfico com maior escala disponível para este estudo.

Com isso, as ortofotos apresentaram erros geométricos (entre 1 e 25m) devidos, principalmente, à qualidade do MDT, sendo que os maiores erros coincidem com as regiões de maior declividade. O fato é que na ortorretificação, o software associa uma altitude para cada pixel da imagem, a partir da interpolação local de elementos do MDT. No entanto, como o MDT não possui a precisão requerida, a altitude associada a cada pixel terá o erro correspondente ao erro do MDT. Em função de fugir do enfoque principal deste trabalho, o estudo a respeito dos erros resultantes da ortorretificação de fotografias aéreas não foi realizado, no entanto, pode-se aprofundar o assunto em Rosalen (1997), Sato (2003), Siqueira et al. (2004), entre outros.

Contudo, o produto final obtido foi considerado satisfatório quanto ao atendimento das necessidades do trabalho, visto que as informações a respeito das degradações atingiram o nível de detalhamento necessário. Na Figura 6.9 tem-se o mosaico das ortofotos e os vetores da drenagem sobrepostos ao MDT na tela do software *Envi 4.1*.

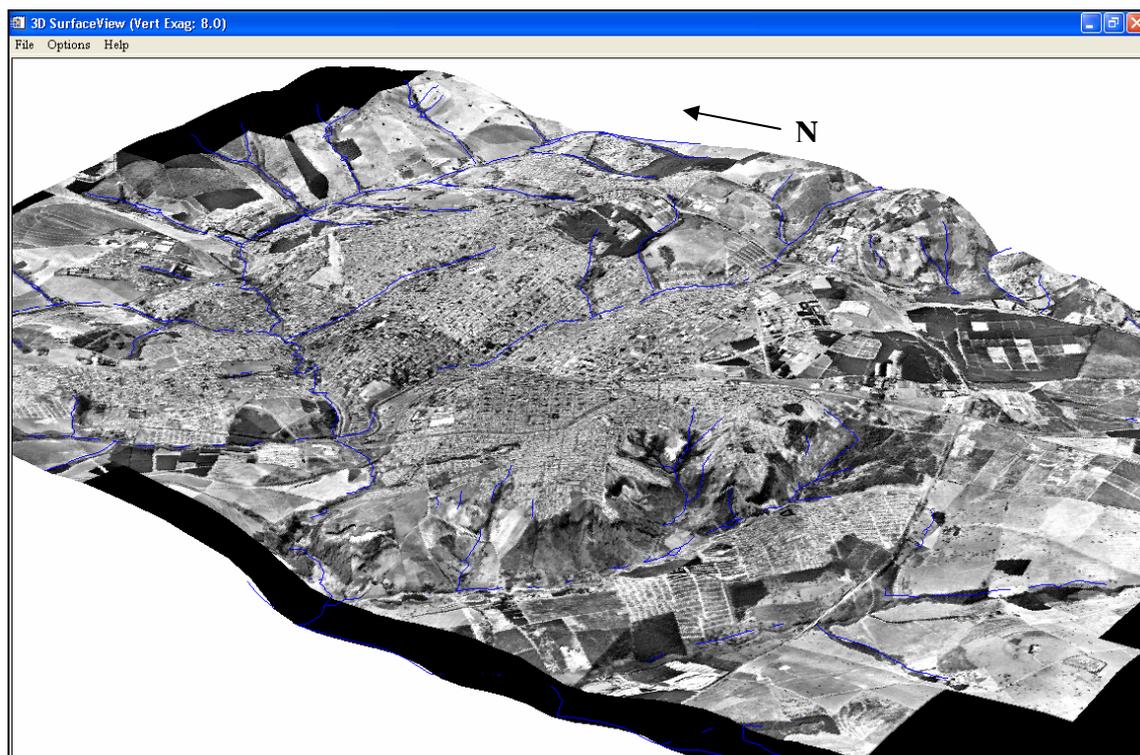


Figura 6.9: Sobreposição do mosaico ortorretificado e dos vetores da drenagem ao MDT.

A Figura 6.10 mostra os vetores do traçado urbano (executados pela empresa Aeroconsult a partir da restituição das fotografias aéreas do ano de 1998) sobrepostos à imagem do mosaico das ortofotos na tela do *Autocad 2004*. Pode-se observar, nos pontos destacados, que a imagem está deslocada do vetor em diferentes valores de distância. Estas diferenças de posição representam os respectivos erros encontrados.

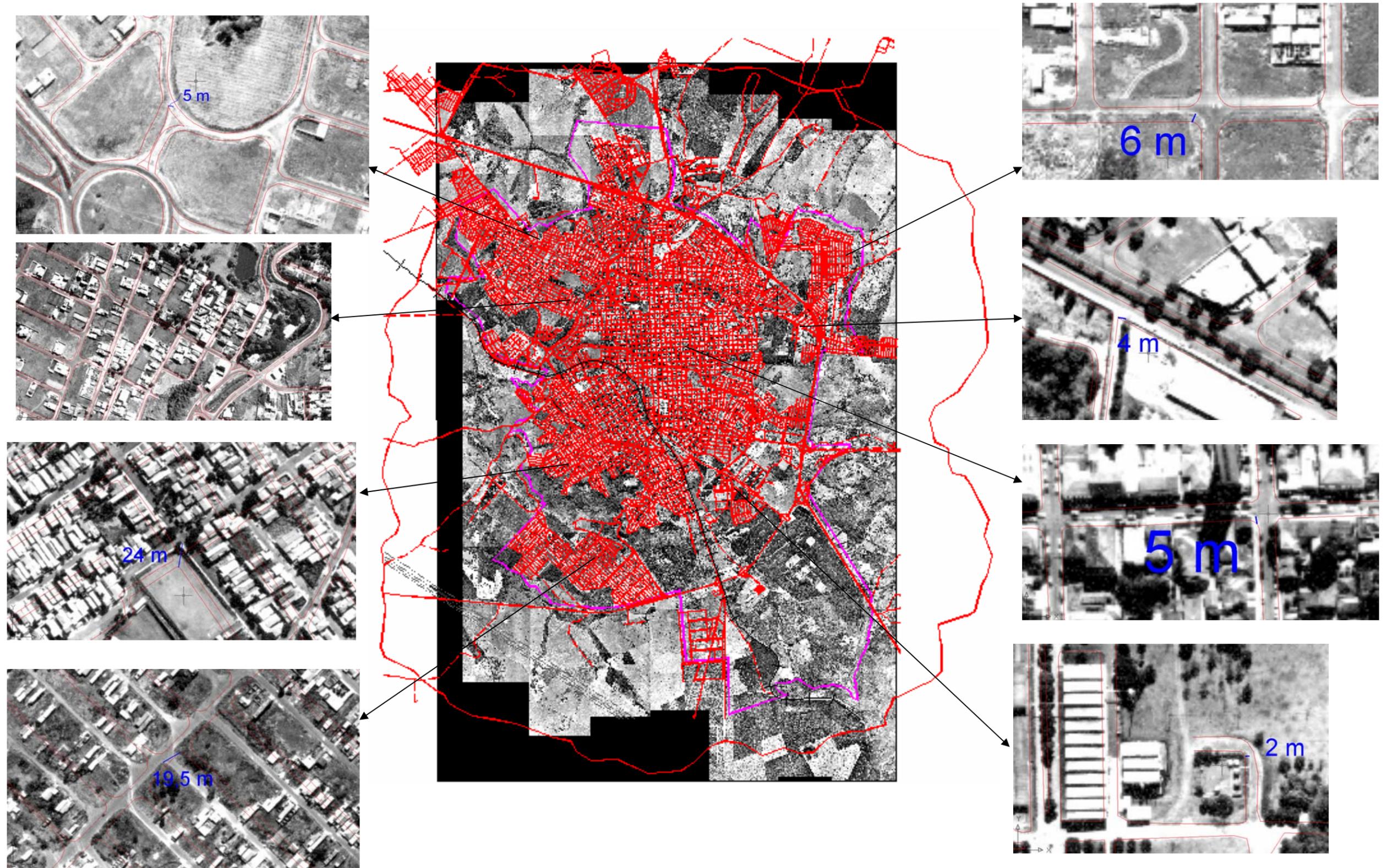


Figura 6.10: Sobreposição dos vetores do traçado urbano na imagem do mosaico ortorretificado e medição dos erros resultantes. Observa-se que na região oeste da cidade, onde as declividades são maiores, os erros também são maiores.

Como exemplo de contribuição desta ferramenta no estudo das degradações ambientais tem-se as medidas realizadas nos córregos da cidade, a fim de se obter a extensão da margem de vegetação ribeirinha retirada. A Figura 6.11 mostra o mosaico das ortofotos na tela do *AutoCad 2004*, onde foi possível medir a extensão da margem desmatada do Córrego Tijuco Preto, localizado no centro da cidade. Neste caso, verificou-se que a drenagem, em toda sua extensão (3 km), já não possui vegetação ciliar.

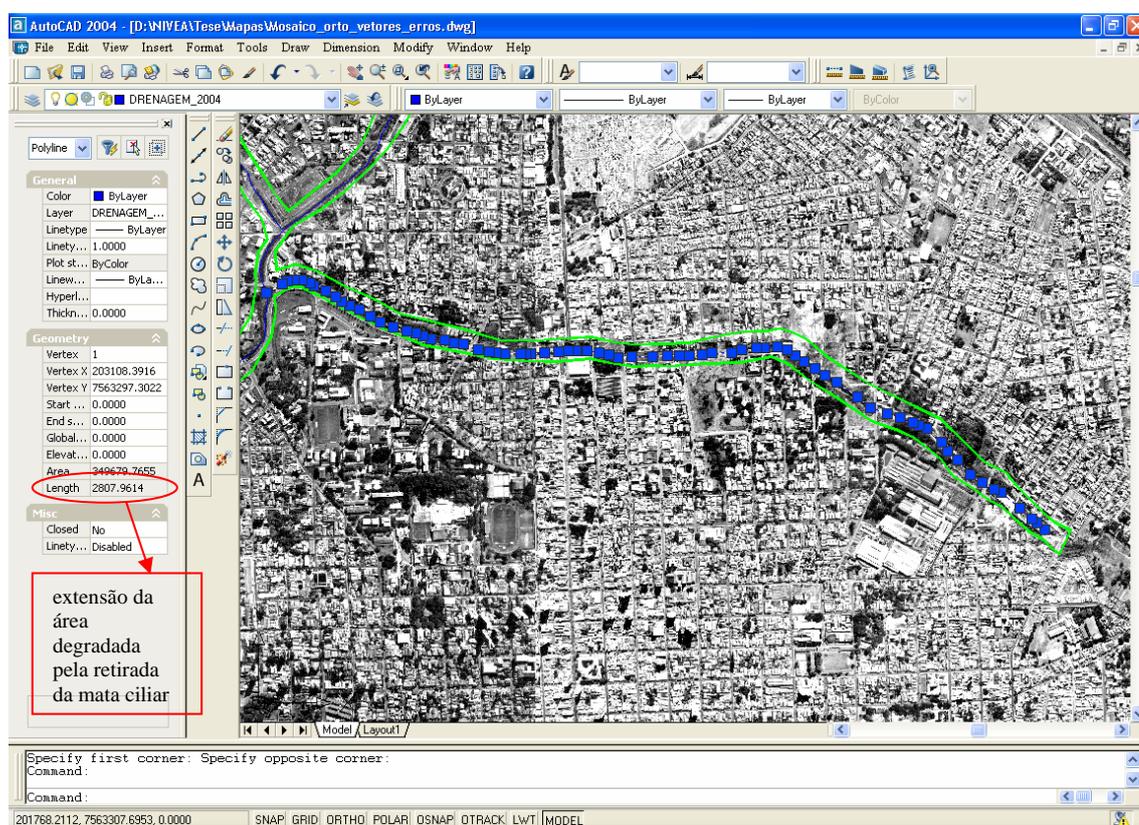


Figura 6.11: Mosaico das ortofotos, com sobreposição do vetor da drenagem e da degradação ambiental por retirada de mata ciliar. Foi possível medir a extensão da margem do Córrego Tijuco Preto onde foi retirada a mata ciliar.

Outra medida obtida do mosaico das ortofotos é a área aproximada de uma pedra abandonada na região oeste da cidade. A Figura 6.12 mostra o mosaico das ortofotos sobreposto com o vetor da área degradada no *AutoCad 2004* e o tamanho da área do polígono traçado e apontado.

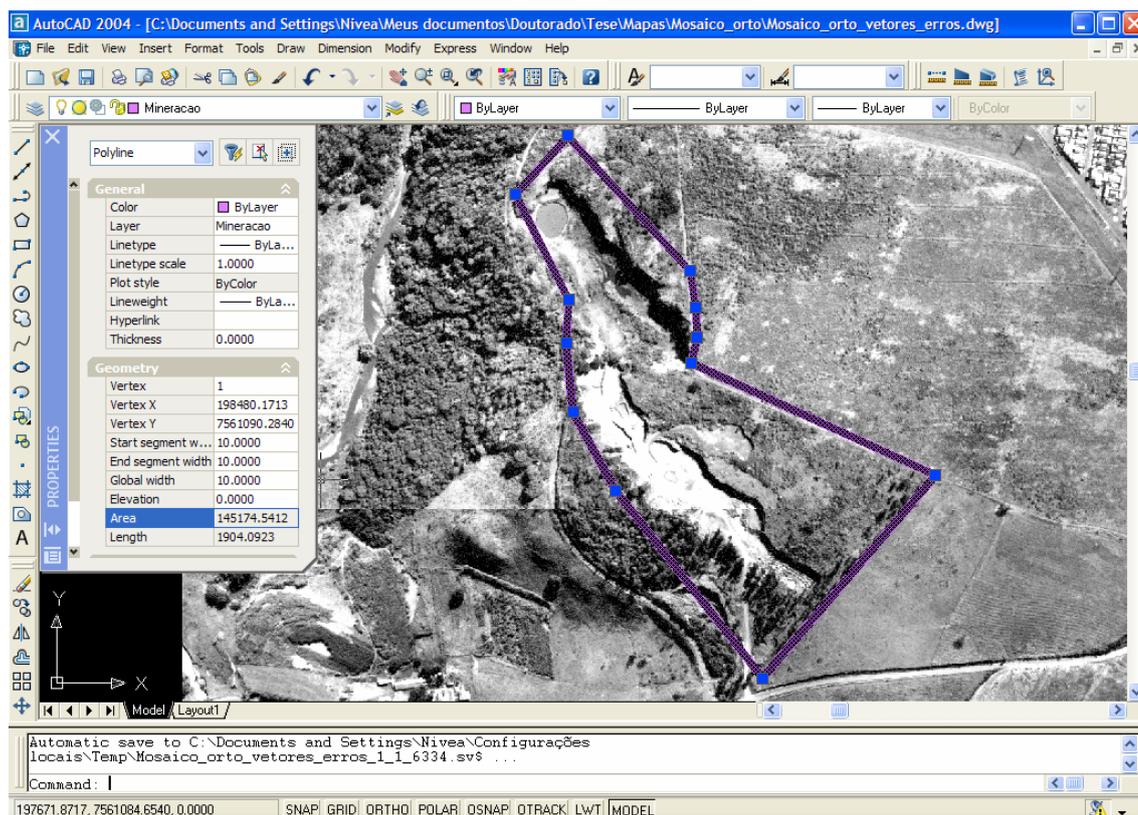


Figura 6.12: Mosaico das ortofotos, com sobreposição do polígono traçado da mineração abandonada. Foi possível medir a área aproximada ocupada pela degradação ambiental.

Entre tantas outras informações que foram obtidas do mosaico das ortofotos, sentiu-se necessidade de atualizá-las, a fim tornar o estudo mais preciso a respeito das degradações do meio físico na cidade de São Carlos. Para tanto, foi adquirida a imagem do satélite Ikonos no ano de 2004, o que contribuiu com o enriquecimento do estudo, como descrito a seguir.

## 6.2. Uso da Imagem Ikonos no Estudo de Degradação Ambiental

A disponibilidade cada vez maior de sensores remotos com resoluções espaciais e radiométricas tornam estes produtos ferramentas muito úteis em estudos ambientais.

Dentre estes sensores, as imagens obtidas pelos satélites da série Ikonos tem se destacado pela oferta de produtos com resoluções espaciais de até 1 m e com possibilidade de ortorretificação.

Neste trabalho optou-se por utilizar estas imagens, que tem um custo aproximado ao das fotos aéreas, e verificar a qualidade do produto final quando

comparado com as ortofotos. A seguir descrevem-se os procedimentos e tratamentos executados para as imagens Ikonos.

### **6.2.1. Processo de ortorretificação da imagem Ikonos**

A imagem Ikonos Carterra Geo com todas as bandas multiespectrais (R, G, B e IR) adquirida nessa pesquisa, apresenta resolução de 1m e precisão de localização de aproximadamente 15m. A imagem foi entregue em mídia digital (CD), formato GeoTIFF – 11 bits, georreferenciada, porém não mosaicada e não ortorretificada. Em função do tamanho da área de estudo, foram enviadas 4 imagens.

A fim de realizar a ortorretificação, a imagem foi fornecida juntamente com o modelo geométrico, expresso na forma de coeficientes numéricos (RPC - rational polynomial coefficients). Para a realização do processo de ortorretificação da imagem Ikonos Geo Ortho Kit era necessário possuir o Modelo Digital de Elevação da área de estudo, o qual foi apresentado anteriormente.

O modelo do sensor do RPC (coeficientes polinomiais racionais ou coordenadas de posicionamento rápido) é usado para ortorretificar dados dos satélites IKONOS, OrbView-3 e QuickBird. O processo de ortorretificação do RPC combina diversos jogos de dados de entrada para colocar cada pixel na posição da Terra correta. As seguintes entradas são requeridas: a imagem a ser retificada, o modelo do RPC e a informação da elevação. Além disso, o offset entre o nível de mar médio e o de superfície potencial gravitacional é conhecido enquanto o geóide é requerido, assim que a elevação pode corretamente ser interpretada. Finalmente, se a imagem de fonte não tiver a informação aproximada da geolocalização disponível, a posição aproximada da imagem na superfície da Terra deve ser computada para fornecer uma base da posição necessitada para a transformação do RPC (GRODECKI e DIAL, 2005).

Para o processo de ortorretificação, a ferramenta disponível na versão 4.1 do *ENVI* solicita que a imagem Ikonos seja carregada no sistema de janelas de visualização de Imagens do *ENVI*, e também o MDT associado à imagem, já que o uso desta informação permite refinar a ortorretificação. Logo após a seleção da ferramenta e da imagem a ser ortorretificada, é aberta a caixa de diálogo de entrada dos parâmetros de ortorretificação (Figura 6.13).

**Enter Orthorectification Parameters**

Image Resampling:

Background:

---

Input Height:

Select DEM:

DEM Resampling:

Geoid offset:

---

Save Computed DEM?  No  Yes

Output Result to:  File  Memory

Output DEM Filename:

---

Upper Left Coordinate of Output Image

Proj: UTM, Zone 11 North  
Datum: WGS-84

E

N

X Pixel Size:

Y Pixel Size:

Number of Samples:

Number of Lines:

---

Output Result to:  File  Memory

Orthorectified Image Filename:

---

Figura 6.13 - Parâmetros da ortorretificação.

Em função do datum horizontal do MDT ser Córrego Alegre e o da imagem Ikonos ser WGS84, seria necessário fazer o ajuste através do parâmetro “Geoid offset”. No entanto, optou-se por transformar o datum do MDT (Córrego Alegre para WGS84) anteriormente a sua importação para a execução do processo.

A ortorretificação foi feita com cada banda (R, G, B, IR) separadamente. Após foi gerada a composição das bandas RGB ortorretificadas, feito o mosaico das imagens que compõem a área de estudo, e a transformação do datum horizontal WGS84 da imagem Ikonos ortorretificada para o datum horizontal Córrego Alegre. O produto final foi salvo no *Envi 4.1* no formato TIFF e importado no *AutoCad 2004*, sendo apresentado na Figura 6.14 e, em maior escala, no Anexo 10, onde foram sobrepostos os vetores das degradações observadas na cidade de São Carlos, do perímetro urbano e da área de estudo.

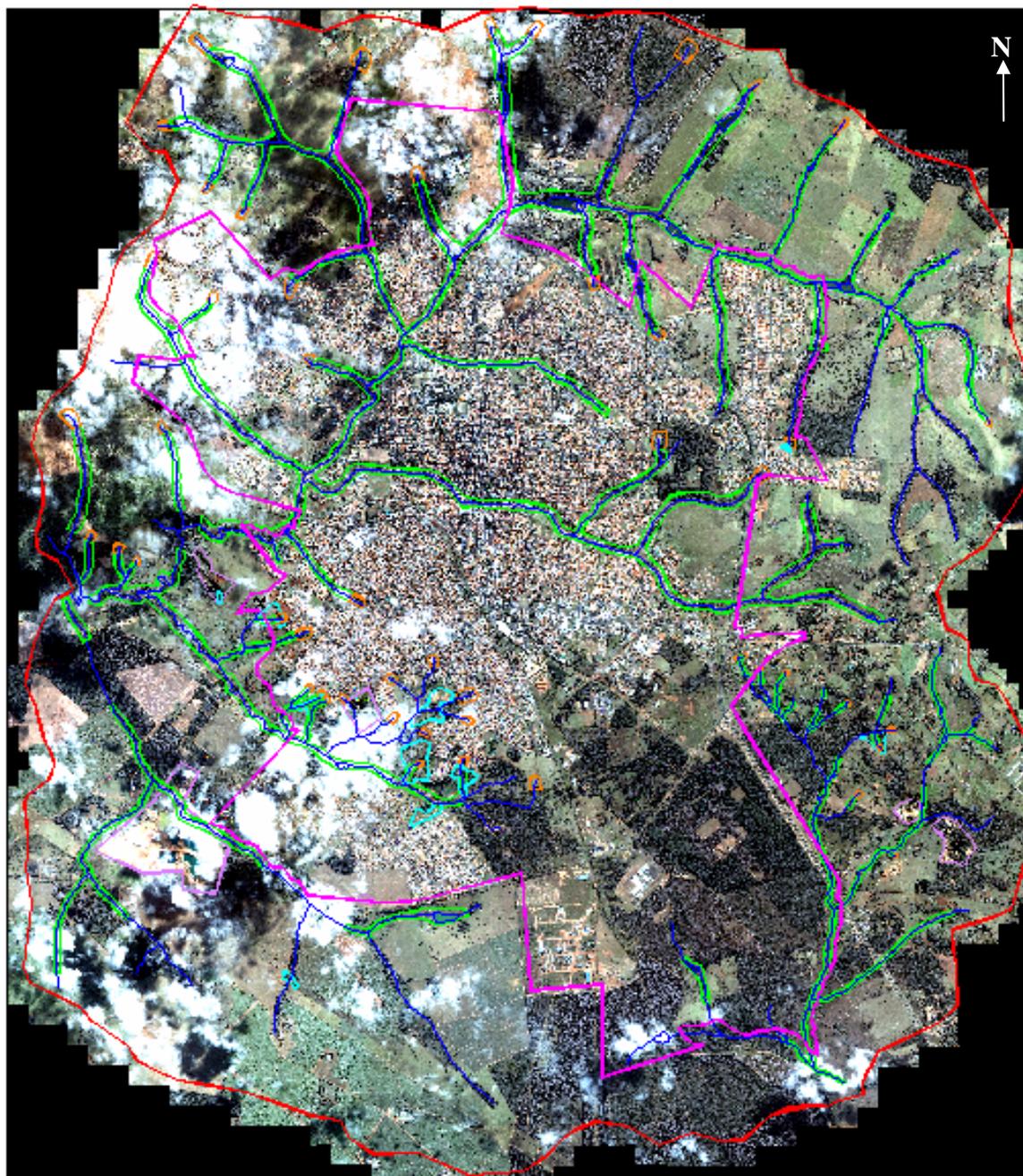


Figura 6.14: Imagem Ikonos (PSM,1m) ortorretificada, de junho/2004 da cidade de São Carlos - SP. Sobreposição dos vetores das degradações observadas na cidade, do perímetro urbano (na cor magenta) e da área de estudo (na cor vermelha).

Ao examinar o resultado da ortorretificação, pode-se verificar as diferenças existentes entre a imagem ortorretificada e a imagem sem ortorretificação, observando-se as diferenças geométricas (deslocamentos) entre as duas. Alguns pontos de controle tomados em campo com GPS topográfico foram verificados na imagem, a qual apresentou erro geométrico de 6 metros. Tal erro deveu-se ao não ajustamento do datum vertical entre o MDT e a imagem Ikonos. A correção deste erro foi possível através do georreferenciamento no software *Envi 4.1* da imagem Ikonos ortorretificada, utilizando

14 pontos de controle coletados em campo com GPS topográfico. Com essa ferramenta, chegou-se à uma precisão de 1 metro de RMS, o que constitui um resultado ótimo para a escala de trabalho de 1:10.000. O produto obtido atendeu a precisão esperada, tornando possível localizar, dimensionar e caracterizar as degradações existentes na área de estudo.

Na Figura 6.15 tem-se a imagem Ikonos e os vetores da drenagem sobrepostos ao MDT na tela do software *Envi 4.1*, utilizando-se a ferramenta de visualização 3D.

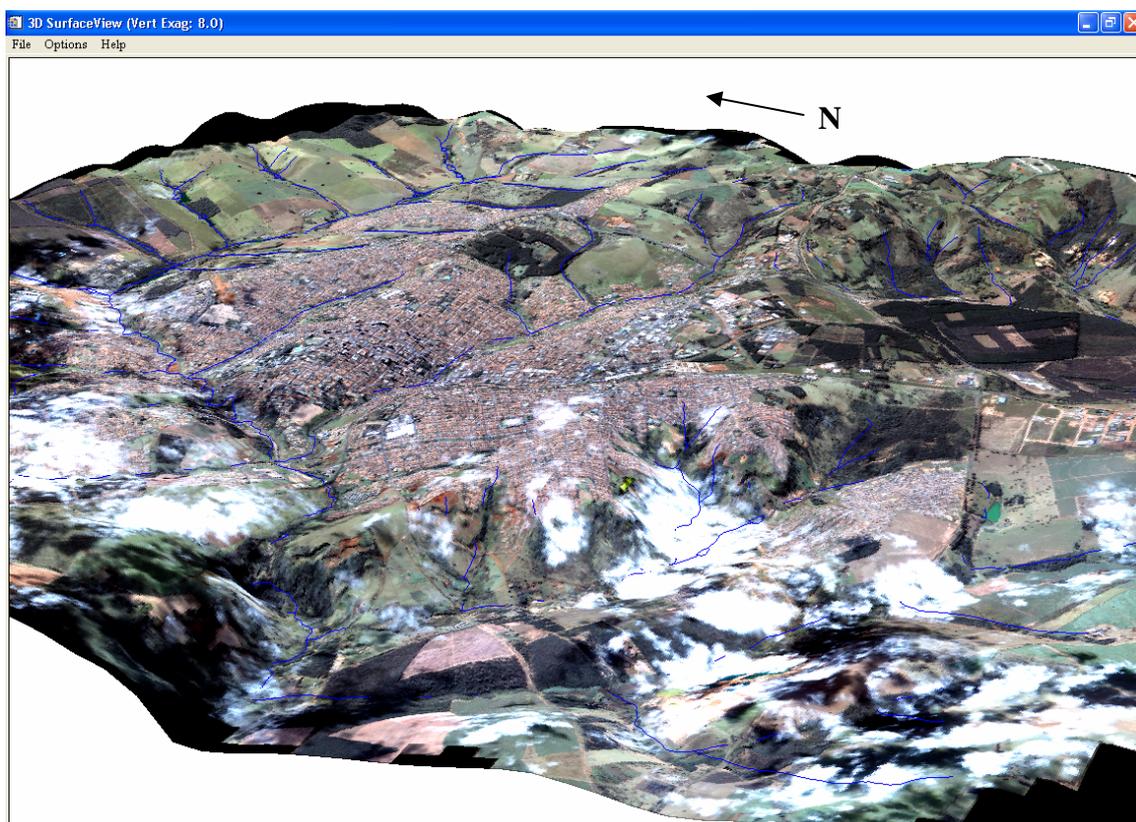


Figura 6.15: Sobreposição da imagem Ikonos e dos vetores da drenagem ao MDT.

Assim como as ortofotos, a imagem Ikonos ortorretificada permitiu obter dimensões precisas a respeito da extensão de margens de drenagens que sofreram degradação pela retirada da mata ciliar, de áreas degradadas por processos erosivos e de áreas degradadas por minerações ativas ou abandonadas. Na Figura 6.16 pode-se observar a área de mineração abandonada, localizada na região oeste da cidade, na tela do *AutoCad 2004*. A mesma área, mostrada anteriormente em tons de cinza no mosaico das ortofotos, agora é apresentada em RGB na imagem Ikonos, o que proporciona uma visualização mais detalhada a respeito das condições atuais do meio físico.

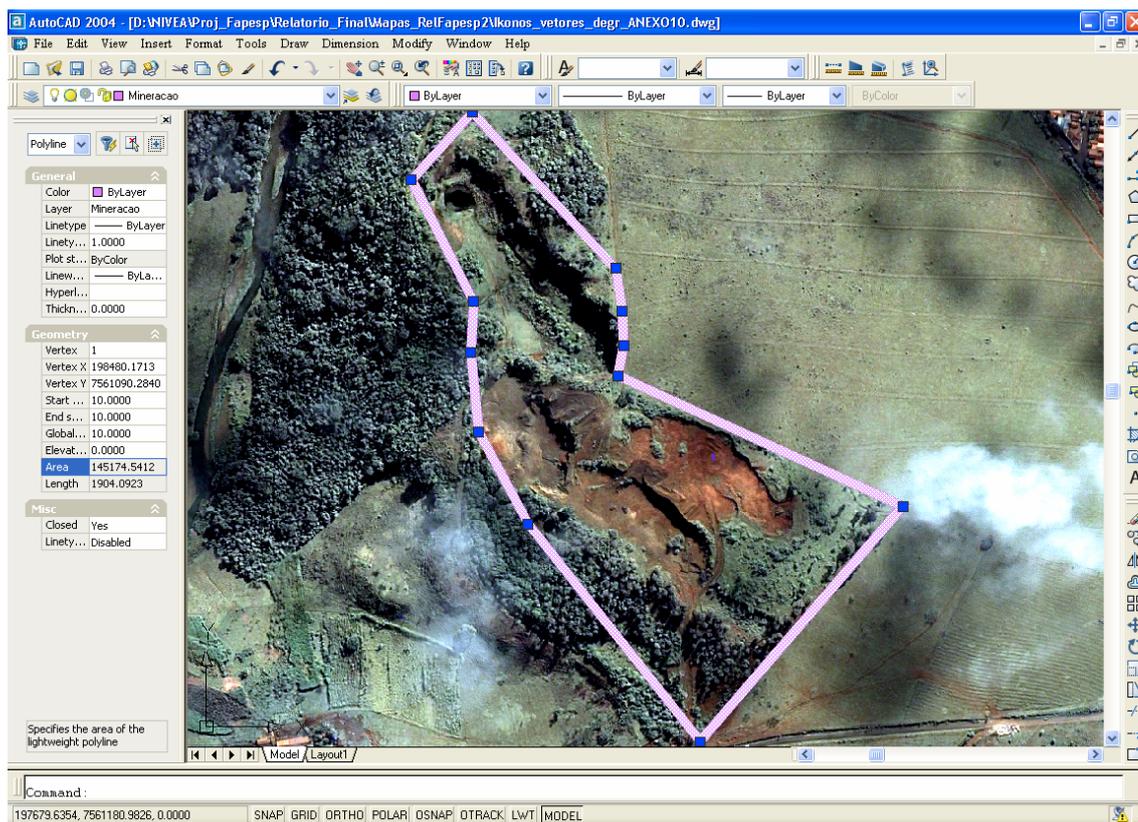


Figura 6.16: Imagem Ikonos, com sobreposição do polígono traçado da mineração abandonada. Medição da área aproximada atingida pela degradação ambiental e observação das condições da cobertura vegetal.

Na Figura 6.17 pode-se observar na imagem Ikonos o detalhamento das condições atuais do meio físico na região oeste da cidade, onde foram encontrados os maiores problemas de degradação ambiental, como processos erosivos, assoreamento e retirada da mata ciliar, bem como a proximidade de residências dessas degradações, cuja distância pode ser medida com precisão no *AutoCad 2004*. Neste caso pode-se observar que as residências estão bem próximas (100 metros) da área que sofre processo erosivo e também das margens da drenagem, o que gerou o desmatamento inadequado e agravou o assoreamento.

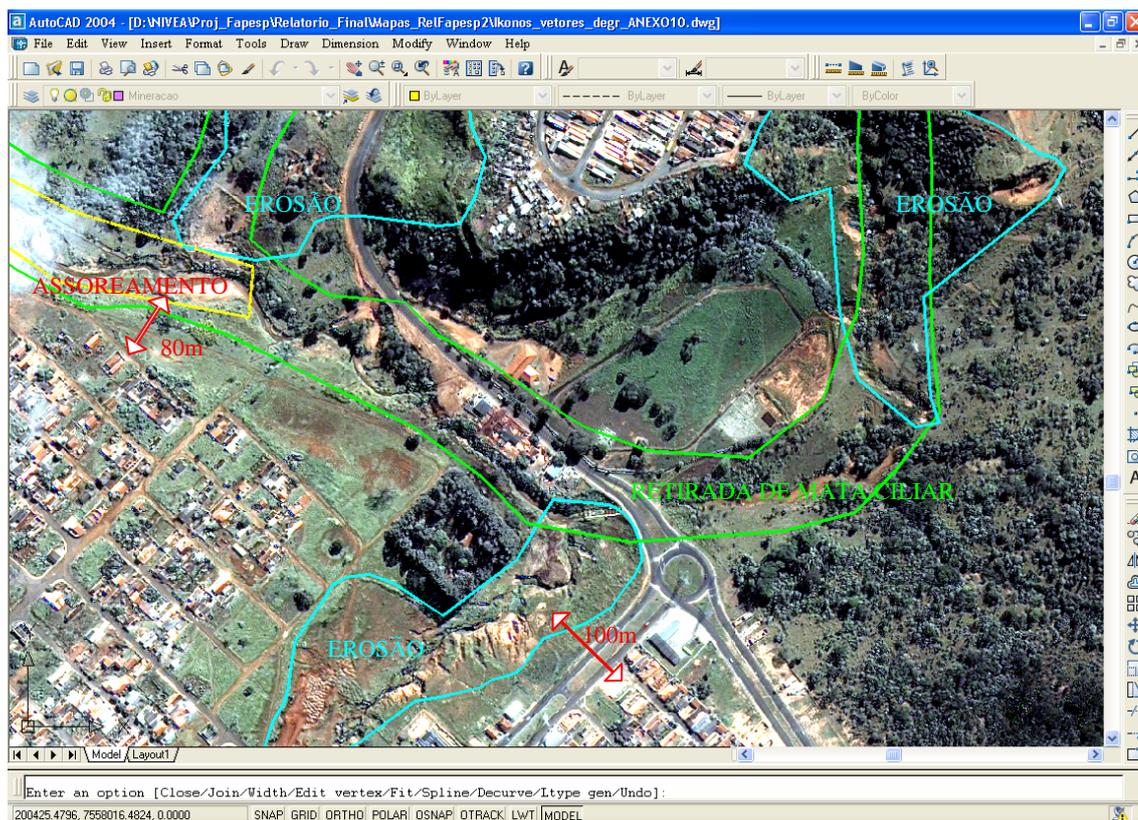


Figura 6.17: Região oeste da cidade de São Carlos, observada na imagem Ikonos ortorretificada, onde são destacados os maiores problemas de degradação ambiental, como erosões, assoreamento e retirada de mata ciliar, além da proximidade de residências.

A imagem Ikonos ortorretificada contribuiu com o levantamento das áreas degradadas, bem como com o detalhamento das informações a respeito da situação atual do meio físico. Além disso, trouxe agilidade e objetividade às etapas de campo, pois a imagem atualizada permitiu verificar a localização e planejar a melhor forma de acesso às áreas degradadas.

## **7. ANÁLISE DAS DEGRADAÇÕES AMBIENTAIS NA ÁREA DE ESTUDO**

---

Os problemas de degradações ambientais encontrados nas cidades devem-se, geralmente, à falta de conhecimento do meio físico quando da ocupação do terreno, à especulação imobiliária e também à falta de consideração do conhecimento existente. Com isso, torna-se necessário encontrar mais soluções para corrigir do que para prevenir tais problemas.

Neste trabalho, a fim de se conhecer o meio físico das áreas degradadas existentes na área de estudo e encontrar soluções para corrigir estes problemas, foi feita a análise da evolução das degradações, elaborada a carta de localização das degradações atuais, e foi feito o inventário destas áreas degradadas. Tais degradações correspondem a erosões, assoreamentos, minerações abandonadas e em atividade e desmatamento inadequado em áreas de nascente e nas margens das drenagens. A seguir, estas etapas são detalhadas.

### **7.1. Análise da Evolução das Degradações do Meio Físico**

Para a análise da evolução das degradações do meio físico foi feita fotointerpretação nas fotografias aéreas dos anos de 1962, 1978, 1998 e 2000, as quais tem escala 1:24.000, 1:35.000, 1:8.000, 1:30.000, respectivamente. Também foi utilizada a imagem do satélite Ikonos PSM 1m de resolução de julho de 2004 da área de estudo, a fim de obter informações recentes da situação das degradações do meio físico na cidade.

A densidade de ocupação urbana ao longo dos anos foi medida através de uma malha (300 x 300m), de acordo com a escala de cada foto. Esta malha foi preenchida por interpretação visual de acordo com as classes determinadas (sem urbanização, < 20%, 20 a 50%, 50 a 70%, 70 a 100%) para a densidade de ocupação existente.

A Figura 7.1 representa a situação da cidade no ano de 1962, e mostra áreas de desmatamento da cabeceira e margens dos Córregos Gregório e Tijuco Preto, localizados na área central. Também existiam alguns pontos de assoreamento nos Córregos Água Fria e Água Quente, à oeste da área urbana. A retificação dos canais de

drenagem (Córrego do Tijuco Preto e Gregório), feita em obras para o traçado de vias de tráfego, causou o estreitamento e, com isso, a concentração de águas nas regiões centrais da cidade durante o período de chuva intensa. Estas inundações trouxeram prejuízos sócio-econômicos à população e à administração pública.

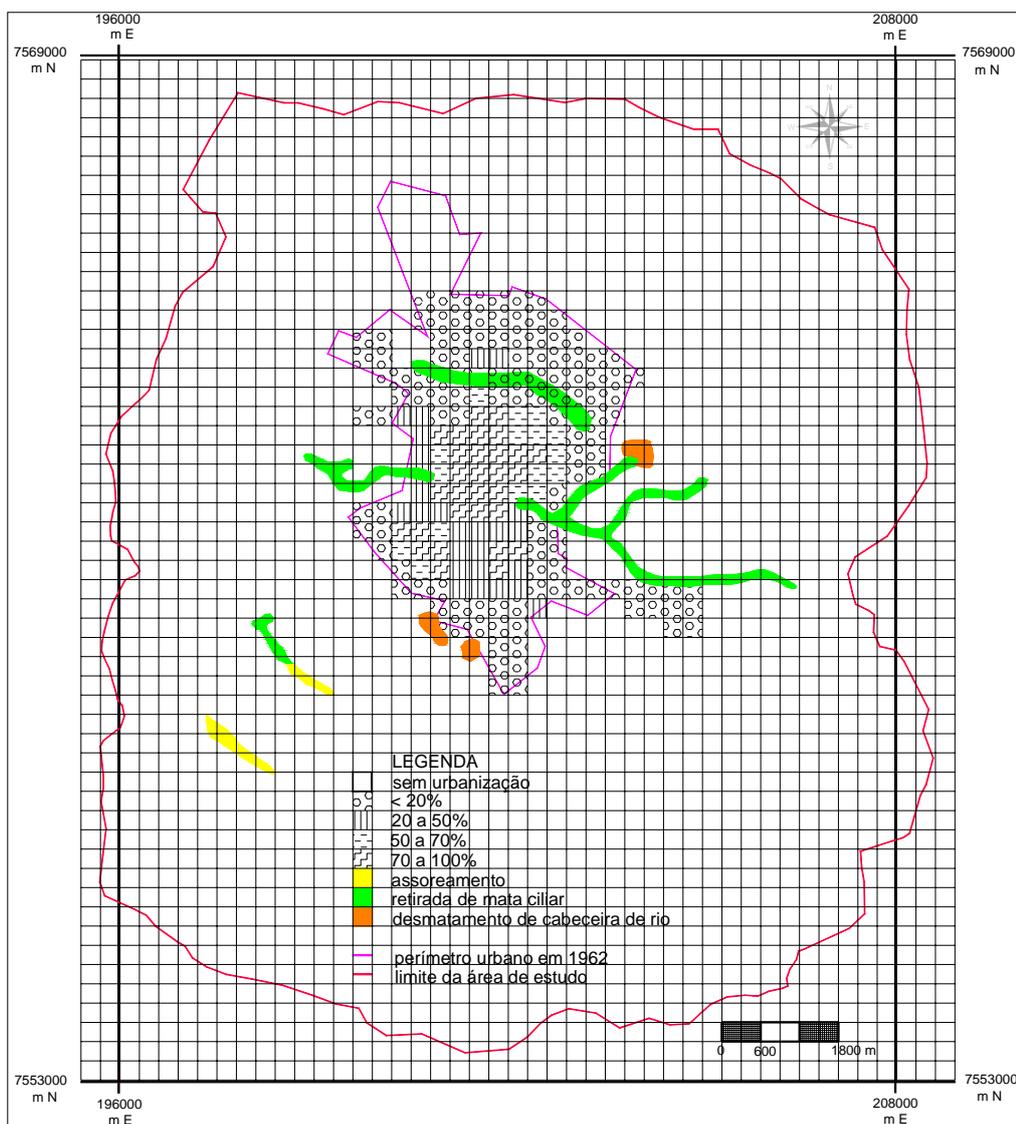


Figura 7.1: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1962).

A expansão urbana ocorrida na cidade, passados 16 anos (1962-1978), apresentada na Figura 7.2, mostra o maior crescimento da cidade à sudoeste, onde o meio físico apresenta maiores restrições à ocupação. A presença da Formação Botucatu, a ocorrência de altas declividades ( $>15\%$ ) e por ser área de recarga do Aquífero Botucatu formam um conjunto de elementos vulneráveis à ocupação, em função dos riscos de contaminação do lençol freático e desencadeamento de processos erosivos.

Observou-se o aumento de retirada da mata ciliar e assoreamento nos Córregos Água Fria e Água Quente, situados nesta mesma região, e também o desenvolvimento de processos erosivos nas áreas próximas à ocupação urbana.

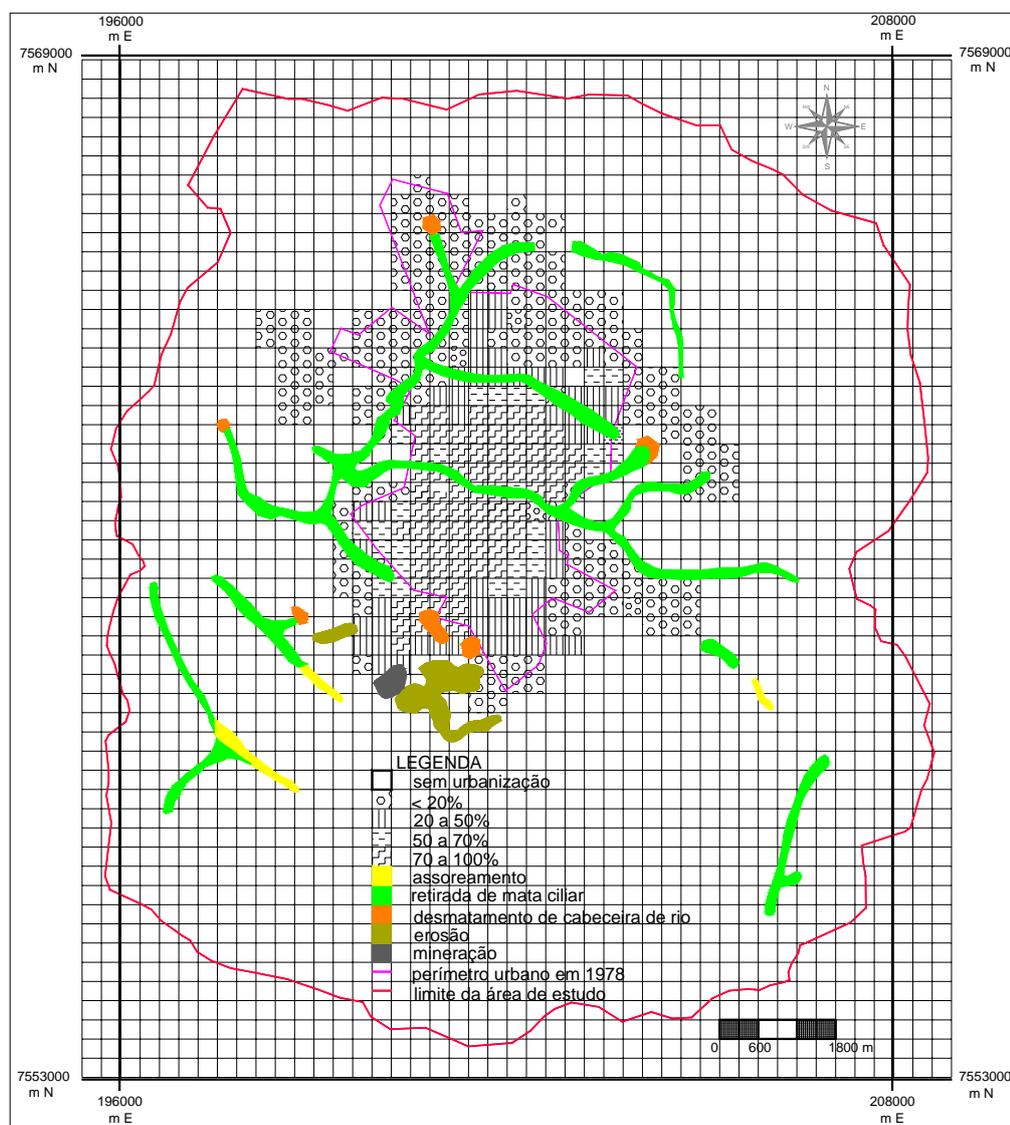


Figura 7.2: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1978).

Após 20 anos de urbanização (1978-1998), pode-se observar que a cidade teve sua expansão de forma desordenada, o que levou ao aumento das degradações por retirada das matas ciliares e de cabeceiras de córregos, como é mostrado na Figura 7.3, ao longo das margens do Córrego Monjolinho. O aumento de erosões foi o fato que mais se destacou, principalmente na região sudoeste da cidade, onde ocorre a Formação Botucatu. As altas declividades em solo arenoso, intensificadas pela ocupação inadequada e falta de infra-estrutura, foram os elementos determinantes do avanço do

processo erosivo. Neste período, houve intensificação das atividades de mineração em locais onde ocorre a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral, para a extração de areia e basalto.

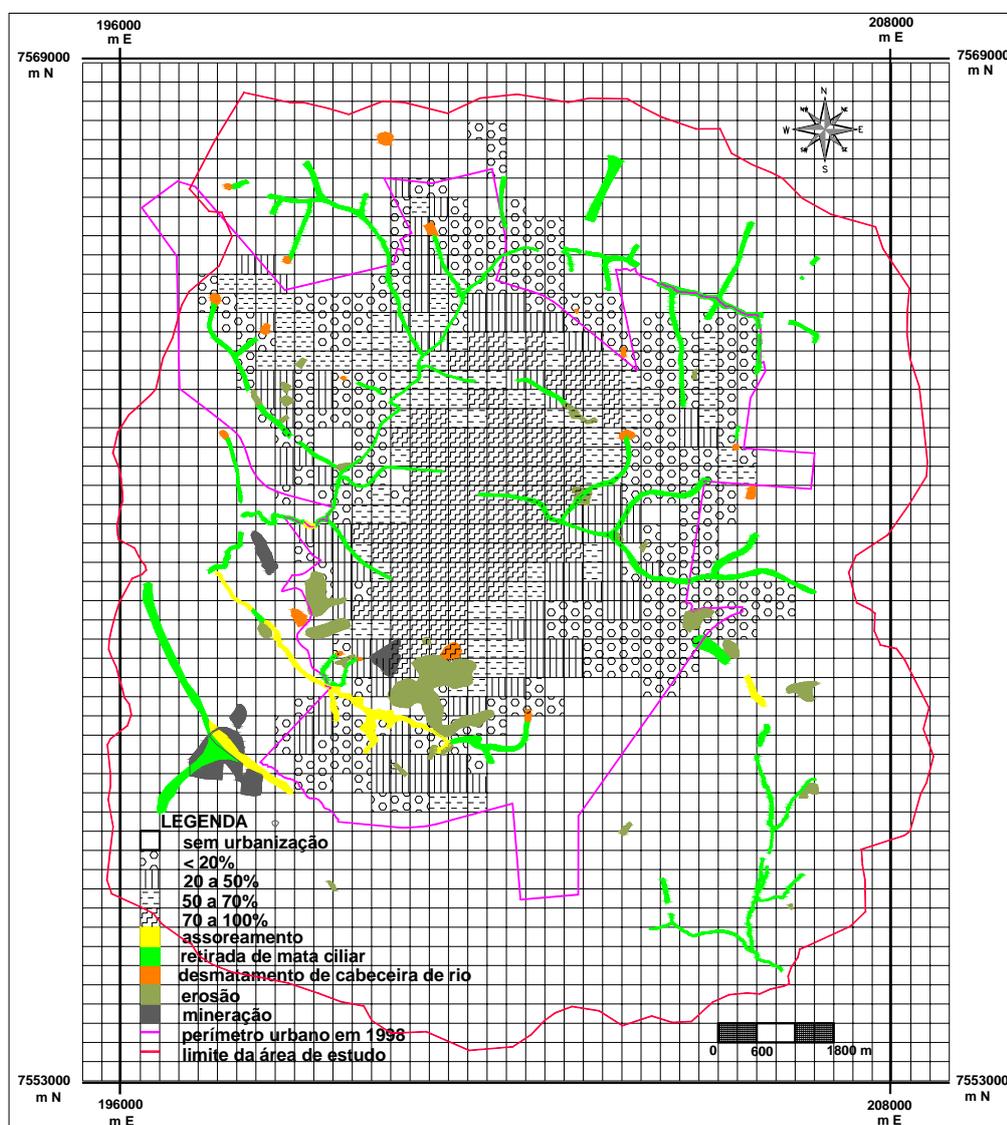


Figura 7.3: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (1998).

Na Figura 7.4, observa-se que a cidade cresceu e densificou com bastante intensidade no período de 2 anos (1998-2000), principalmente na direção noroeste. Esta região da cidade é a preferencial para a expansão da área urbana, devido às características do meio físico, como baixas declividades (<2%, 2 a 5%) e solos com baixa permeabilidade, favoráveis à instalação de infra-estrutura de saneamento. No entanto, a presença de várias nascentes deve ser considerada a fim de se evitar contaminações ou mesmo a extinção dos cursos d'água. Quanto à evolução das

degradações, as áreas de nascente existentes na área urbana sofreram mais desmatamentos, assim como as margens de córregos, devido à instalação de loteamentos e infra-estrutura básica.

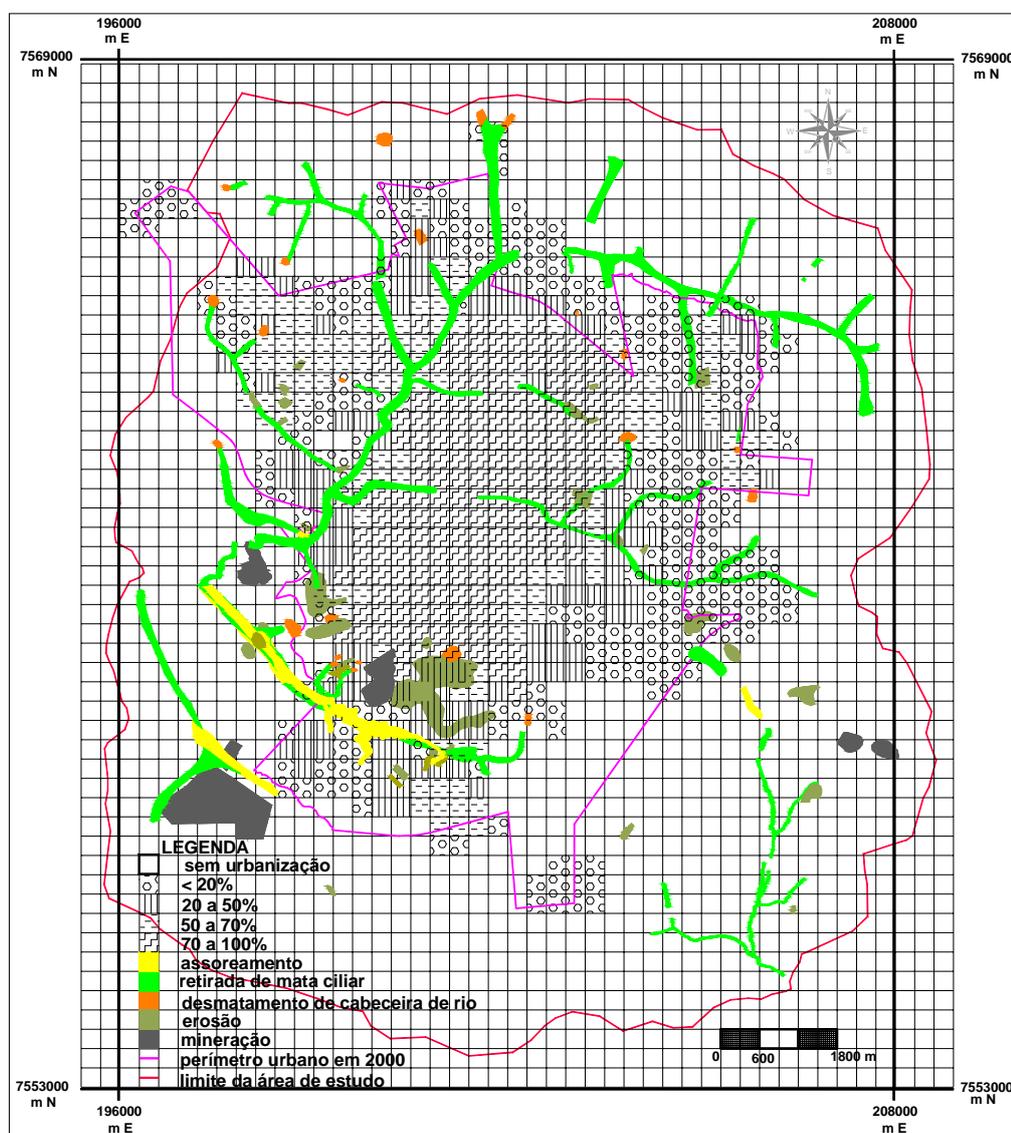


Figura 7.4: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (2000).

Na Figura 7.5 pode-se observar a intensa urbanização ocorrida em 4 anos (2000-2004). A instalação de vários loteamentos nas regiões norte, noroeste e leste provocou o desmatamento em áreas de nascente, a retirada de mata ciliar, muitas vezes além da faixa permitida em áreas urbanas (30 metros) e, em outros casos, a retirada total da vegetação para canalização da drenagem. Tais fatos poderão ocasionar a poluição dos córregos, inundações e a extinção de canais de drenagem. Também se observou o

aumento das áreas de mineração e o contínuo descaso com áreas de mineração desativadas.

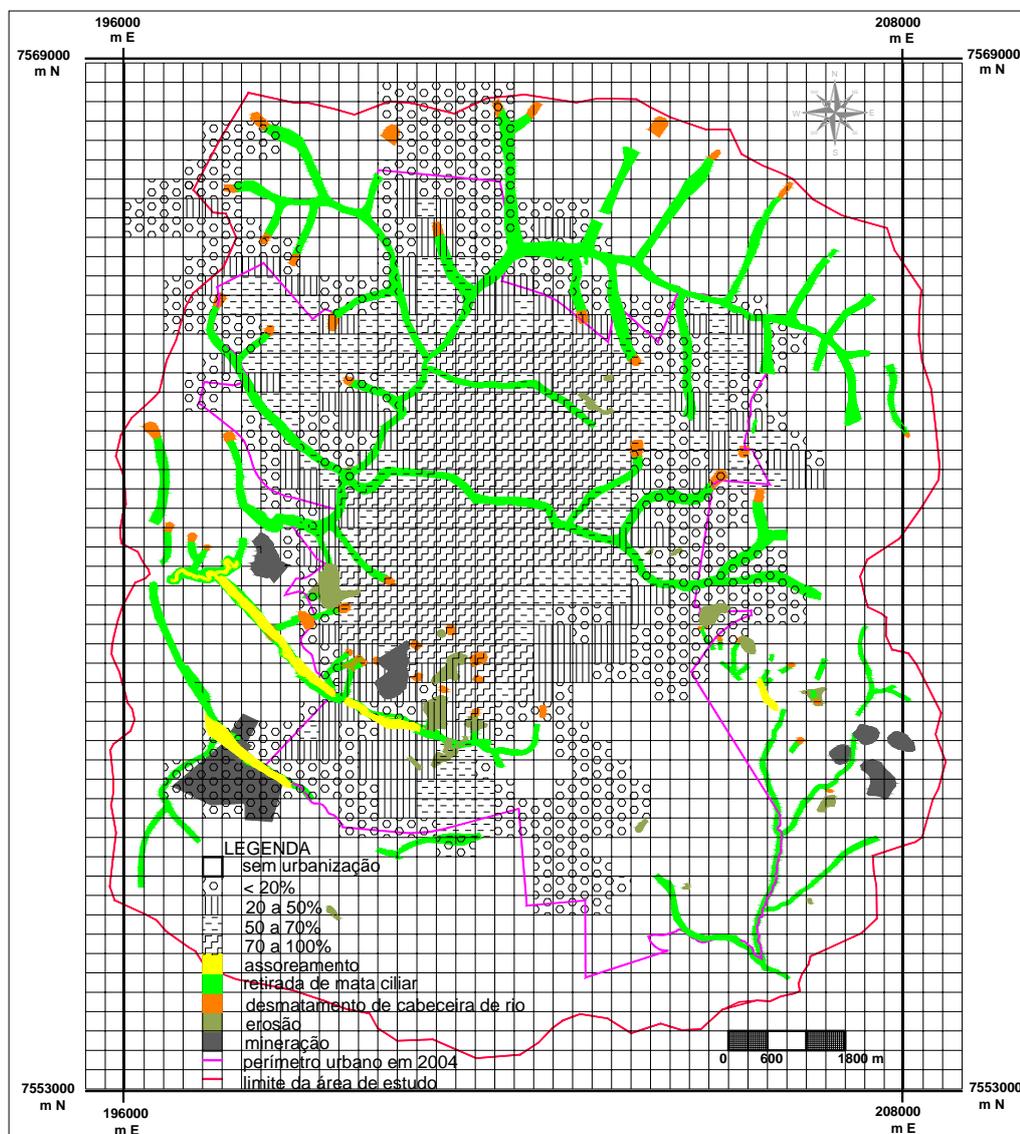


Figura 7.5: Ocupação urbana da área de estudo e degradação ambiental (2004).

## 7.2. Áreas Degradadas Atuais na Área de Estudo. (Anexo 7)

A carta de localização das áreas degradadas atuais na cidade de São Carlos (SP) foi obtida principalmente pelos trabalhos de fotointerpretação realizados com as fotos aéreas de 1998 (escala 1:8.000). Para promover a atualização dessas informações foi utilizada a imagem do satélite IKONOS, PSM- 1 metro de resolução, de junho de 2004, e realizados trabalhos de campo.

O estudo da degradação ambiental na cidade de São Carlos permitiu observar que as formas mais comumente encontradas são: erosões, assoreamentos, minerações

ativas e abandonadas, retirada da mata ciliar e de áreas de nascentes, problemas estes devidos, na maioria das vezes, à expansão urbana desordenada e ao desconhecimento do meio físico. A Tabela 7.1 apresenta o número de pontos e a área aproximada das degradações identificadas na cidade, as quais são apresentadas na carta de localização das áreas degradadas atuais na cidade de São Carlos – SP (Anexo 7).

Tabela 7.1: Áreas degradadas identificadas na cidade de São Carlos.

<b>Tipo de degradação</b>	<b>Quantificação</b>	<b>Em relação à área de estudo (160 km<sup>2</sup>)</b>
Erosão	10 áreas = 512.865 m <sup>2</sup>	0,32% (*)
Desmatamento de cabeceira de rio	30 nascentes	68% (**)
Retirada de mata ciliar	109,0 km	73% (***)
Assoreamento	5,91 km = 40.000 m <sup>2</sup>	3,70% (*)
Mineração	1,83 km <sup>2</sup>	1,14% (*)

(\*) em relação à área de estudo (160 km<sup>2</sup>)

(\*\*) em relação ao n<sup>o</sup> total de nascentes (44 nascentes)

(\*\*\*) em relação ao comprimento total de canais (150 km)

Após o levantamento preliminar das áreas e dos tipos de degradação, foi possível estabelecer uma seqüência de análise a ser empregada para cada tipo de degradação identificada, a qual pode ser verificada nas planilhas de campo elaboradas (Figuras 7.6, 7.7, 7.8). No Anexo 8 apresenta-se todas as planilhas da descrição das áreas degradadas.

No caso das áreas degradadas por minerações (ativas ou desativadas) foram analisados os seguintes aspectos: se existe plano de recuperação; os impactos causados na paisagem, no fluxo d'água superficial e subterrâneo, na vegetação; a estabilidade da escavação; os riscos associados e o destino dos rejeitos.

Nas áreas erodidas foram analisadas as condições em que se encontram (ativa, dormente ou estabilizada), o comprimento, a largura, a profundidade e o tempo de existência da erosão. Também foi analisado onde se encontram (na drenagem ou na encosta), as obras executadas para contenção, o impacto no fluxo d'água superficial e subterrâneo, na vegetação, na fertilidade do solo, e os riscos ocasionados, tanto urbanos como rurais.

Nas áreas de retirada da mata ciliar foi analisado o local de ocorrência (ao longo da drenagem ou na nascente), os danos causados ao meio físico, o tipo de ocupação atual e os impactos ocasionados quanto à infiltração e escoamento.

ÁREAS DEGRADADAS	
<b>MINERAÇÃO</b>	( ) Brita ( ) Areia (aluvião) ( ) Areia (cavas)
Nº identific: _____	Localização: _____
<b>Ativa</b>	<b>Desativada</b>
Previsão de desativação: / /	Data da desativação: / /
Plano de recuperação ( ) sim ( ) não	Plano de recuperação ( ) sim ( ) não
Caracterização da área	
Visual	
Fluxo d'água	Superficial
	Subterrâneo
Estabilidade da escavação	Grau de fraturamento
	Queda de blocos
	Inclinação de taludes
Vegetação	
Risco	
Rejeitos	

Figura 7.6: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por mineração.

ÁREAS DEGRADADAS			
<b>DESMATAMENTO</b>			
( ) em drenagens	( ) nascentes		
Danos causados	Danos causados		
( ) erosão ( ) assoreamento ( ) secamento da nascente ( ) outros _____	( ) erosão ( ) outros _____		
Nº identif.: _____	Localização: _____		
Caracterização da área			
Tipo de ocupação atual	Rural	Cultura permanente	
		Cultura temporária	
		Reflorestamento	
		Pastagem	
	Urbana		

Figura 7.7: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por desmatamento.

ÁREAS DEGRADADAS			
EROSÃO	<input type="checkbox"/> Ativa		
	<input type="checkbox"/> Dormente		
	<input type="checkbox"/> Estabilizada <input type="checkbox"/> naturalmente <input type="checkbox"/> com obras		
Nº identif.:		Localização:	
Inventário			
Comprimento			
Largura			
Profundidade			
Tempo de existência			
Erosão	<input type="checkbox"/> Drenagem		
	<input type="checkbox"/> Encosta		Forma da encosta
Obras executadas	Com sucesso		
	Sem sucesso		
Vegetação			
Fluxo d'água	Superficial		
	Subterrâneo		
Assoreamento			
Risco	Urbano		
	Rural		
Perda da fertilidade do solo			
Perda da "função" econômica			

Figura 7.8: Planilha de campo elaborada para avaliação das condições atuais das áreas degradadas por erosão.

### 7.3. Inventário das áreas Degradadas por Micro-bacia

Utilizando-se as planilhas desenvolvidas neste estudo e apresentadas no Anexo 8, realizou-se um inventário detalhado das áreas de degradação ambiental na área de estudo. As observações estão agrupadas por micro-bacias que tem maior expressão na cidade e fazem parte da Bacia do Rio Monjolinho, com exceção da micro-bacia do Córrego do Monjolinho que faz parte da Bacia do Córrego Feijão (Figura 7.9).

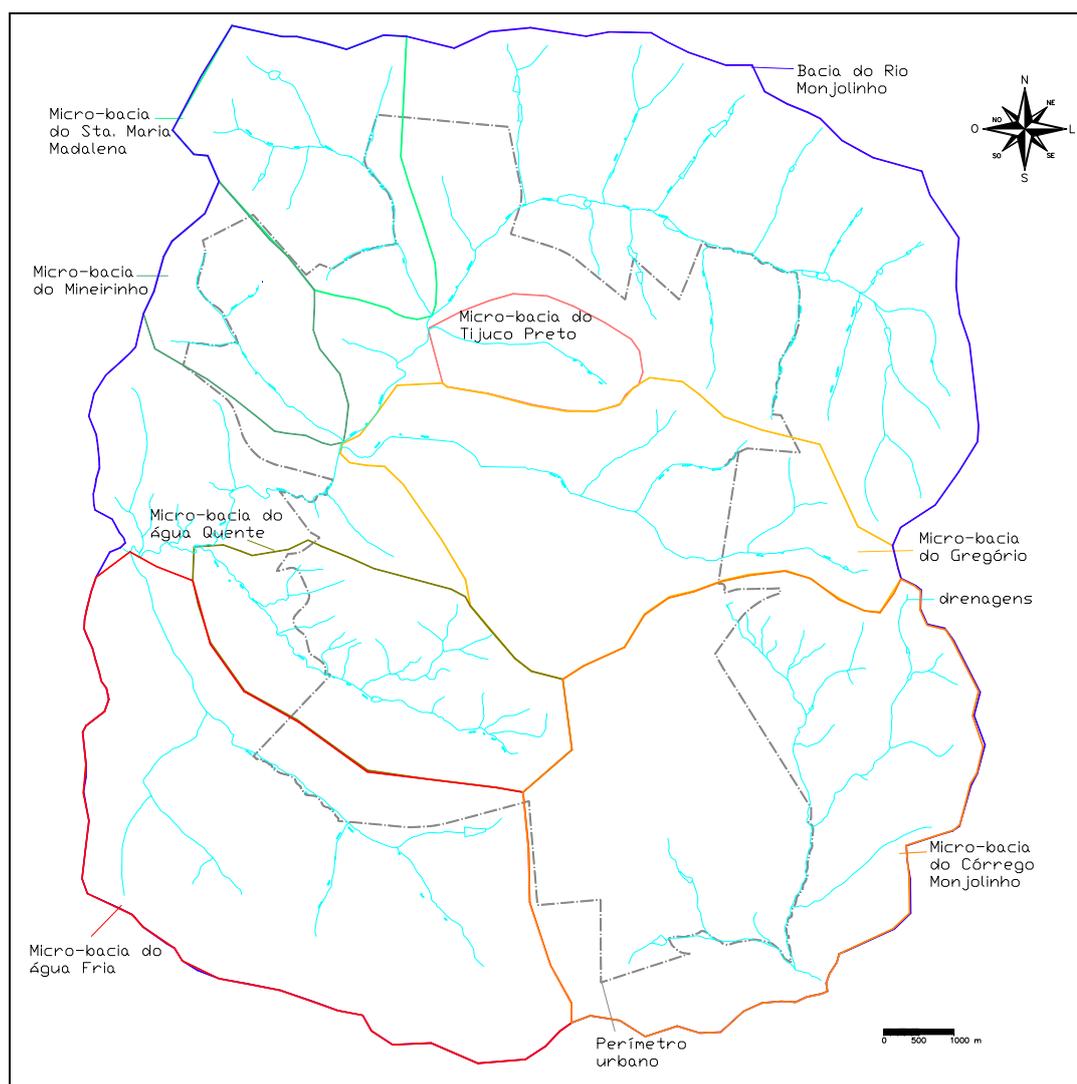


Figura 7.9: Mapa das micro-bacias da cidade de São Carlos SP.  
 Fonte: Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano (2005),  
 modificado.

### Micro-bacia do Córrego Água Quente

Atualmente, a micro-bacia do Córrego Água Quente tem 37% da sua área ocupada por loteamentos (Figura 7.10), os quais estão localizados sobre as Formações Itaqueri, Botucatu e uma porção menor sobre a Formação Serra Geral. A instalação das ocupações residenciais neste local causou diversos danos ao meio físico, como erosões e assoreamentos. O desmatamento inadequado que ocorreu no local e deixou os solos arenosos, que possuem baixa coesão, expostos à ação de chuvas fortes, provocou o carreamento das partículas de solo e, com isso, o princípio dos processos erosivos que colocou em risco toda a área situada nas proximidades.

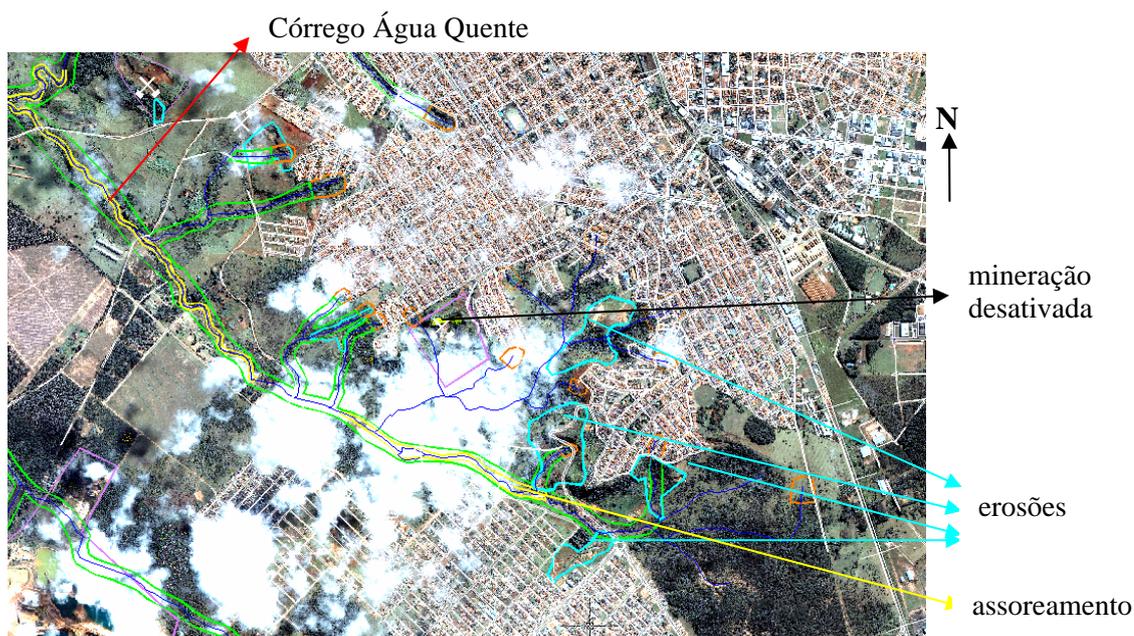


Figura 7.10: Bacia do Córrego Água Quente. Ocupação inadequada causou retirada da mata ciliar, erosões e assoreamentos.

A Figura 7.11 mostra a boçoroca que se formou há, aproximadamente, 20 anos na margem do Córrego Água Quente, e foi causada pelo intenso escoamento superficial das águas pluviais. No mapa de localização das áreas degradadas esta área foi identificada como 8A. As altas declividades observadas (10 a 15%), associadas à alta erodibilidade dos solos arenosos e à ausência de vegetação foram os fatores indutores do processo.



Figura 7.11: Boçoroca ocasionada pela intensidade das águas pluviais no bairro Cidade Aracy, onde houve desmatamento inadequado.

A fim de estabilizar o processo erosivo neste local, diminuindo a velocidade das águas pluviais, foi construído um dissipador de energia (Figura 7.12, ponto A), cujo projeto considerou o tipo de solo e a velocidade compatível. A obra foi feita em

concreto, o que teve um custo elevado, porém necessário, em função das dimensões do processo erosivo instalado.



Figura 7.12: Dissipador de energia construído no Córrego Água Quente a fim de estabilizar o processo erosivo instalado no local.

A Figura 7.13 (ponto B) mostra que o processo erosivo foi estabilizado com a obra, no entanto o local ainda oferece riscos à população. Verificou-se que a profundidade desta boçoroca chega a 5 metros em alguns pontos. A largura e extensão é de aproximadamente 50 metros e 1km, respectivamente. Na porção mais distante da margem do córrego (Figura 7.14), pode-se observar que a topografia ainda sofre modificações pelas águas pluviais, ou seja, o processo erosivo não foi completamente estabilizado.



Córrego Água Quente

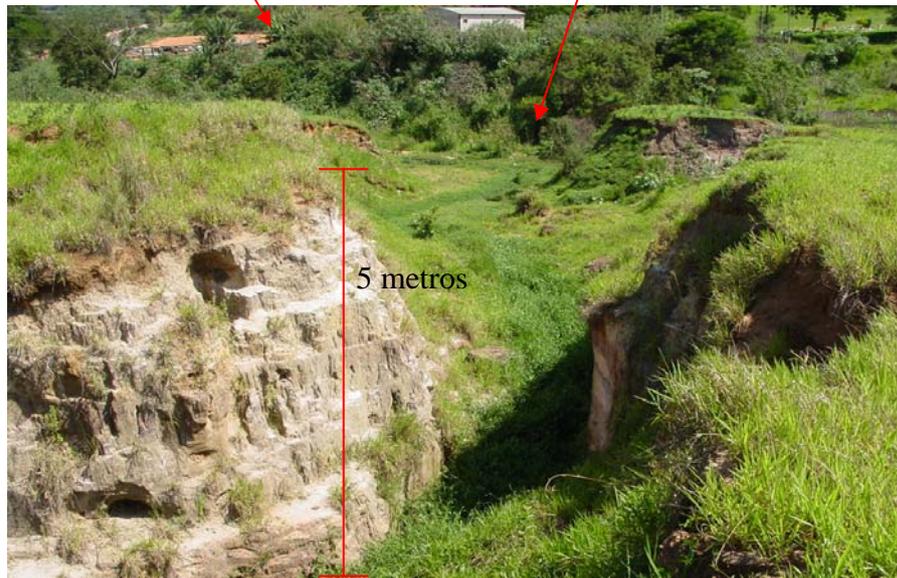


Figura 7.13: Boçoroca no bairro Cidade Aracy que foi estabilizada com obras.



Figura 7.14: Processo erosivo ativo próximo do Córrego Água Quente, devido a ação das águas pluviais.

Apesar do isolamento da área onde existe a boçoroca (uso de cerca com arame farpado), ainda verificam-se problemas, como o despejo de esgoto devido à tubulação quebrada (Figura 7.15, ponto D) e o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.



Figura 7.15: Rede de drenagem de esgoto doméstico rompida, provocando a contaminação do solo e a instabilização do processo de controle da erosão.

A Figura 7.16 mostra outra boçoroca na margem direita do Córrego Água Quente, atrás do cemitério no bairro Cidade Aracy, onde a declividade é alta (maior que 10%) e houve desmatamento de forma inadequada. No mapa ela está identificada como 7A.

Esta boçoroca possui aproximadamente 2km de comprimento, 50m de largura e 8m de profundidade. Neste local ocorre o material Coluvionar do Botucatu, o qual apresenta grande percentual de areia fina quartzosa e compacidade de fofa a pouco compacta. Tais características, associadas à alta declividade, ausência de vegetação e forte intensidade do escoamento superficial das águas pluviais, favoreceram a ocorrência do processo erosivo.

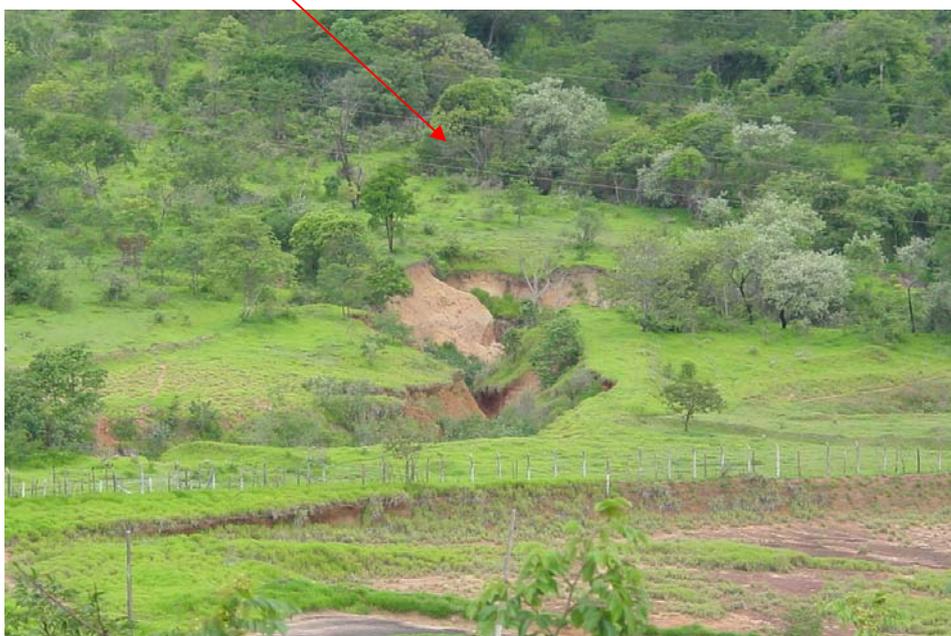


Figura 7.16: Boçoroca localizada atrás do cemitério no bairro Cidade Aracy causada pelo escoamento superficial das águas pluviais em local com alta declividade e material Coluvionar do Botucatu.

Esta erosão atingiu o lençol freático, como pode ser visto na Figura 7.17, o qual fica exposto ao risco de contaminação.



Figura 7.17: Boçoroca localizada no bairro Cidade Aracy, atrás do cemitério, atingindo o lençol freático.

A Figura 7.18 mostra a boçoroca formada no bairro cidade Aracy, identificada no mapa como 6A, em uma região de altas declividades (10 a 15%). No local da erosão ocorre o solo Residual Arenoso I, o qual apresenta alta erodibilidade.

As características do meio físico, juntamente com a ocupação inadequada ocasionaram o surgimento do processo erosivo.



Figura 7.18: Boçoroca estabilizada no bairro Cidade Aracy.

Neste local, a boçoroca foi controlada com obras de drenagem e viária, encontrando-se atualmente estabilizada. O isolamento da área contribuiu com a recuperação parcial da vegetação (Figura 7.19).



Figura 7.19: Boçoroca controlada com obras viárias e de drenagem no bairro Cidade Aracy. Observa-se a recuperação parcial da vegetação.

Outro local onde foi verificado processo de degradação ambiental, dentro da micro-bacia do Córrego Água Quente, foi a mineração da Empresa Bandeirantes desativada no bairro Mirante da Bela Vista (Figura 7.20).



Figura 7.20: Pedreira abandonada no bairro Mirante da Bela Vista. O material explorado era o basalto da Formação Serra Geral.

A atividade de mineração foi praticada neste local durante 46 anos, tendo sido desativada em 2001, em função da ocupação urbana que se expandiu nessa direção. Observa-se que a área ainda oferece riscos devido à alta declividade, à existência de um poço com água de aproximadamente 8 metros de profundidade, e à facilidade de acesso

ao local, o que levou à ocorrência de casos de quedas fatais, conforme informações de moradores do entorno (Figura 7.21 e 7.22).



Figura 7.21: Área da pedreira abandonada onde se observa a existência de poço de 8m de profundidade, com acúmulo de água de chuva e talude de corte maior que 5m de altura.



Figura 7.22: Ocupações vizinhas da pedreira abandonada, distantes 100m do talude de corte.

Como forma de tentar recuperar a área, diminuindo os riscos devidos à alta declividade, durante determinado tempo o local serviu como depósito de entulho (Figura 7.23). No entanto, junto com o entulho também estava sendo depositado lixo, o que poderia provocar a contaminação do solo e da água. Com isso, esta forma de recuperação foi interrompida, sendo a área utilizada atualmente somente como oficina da empresa.



Figura 7.23: Tentativa de recuperação da área degradada pela mineração: deposição de entulho.

Neste mesmo local, obras de drenagem de águas pluviais foram executadas a fim de diminuir a velocidade do fluxo d'água, em função da existência de altas declividades. No entanto, a obra foi destruída pela força das águas da chuva e encontra-se sem reforma (Figura 7.24).



Figura 7.24: Obra de controle da erosão destruída pela força das águas pluviais, na região da mineração abandonada.

Além dessas degradações localizadas, ao longo da margem do Córrego Água Quente pode-se observar a ocorrência de assoreamentos (Figura 7.25, 7.26 e 7.27). Este bairro é um dos exemplos de maior problema na cidade, em função da forma como se

deu a ocupação e das características do meio físico, como materiais inconsolidados (solos transportados arenosos) e alta erodibilidade. O desmatamento que ocorreu na área para a implantação do loteamento foi o fator indutor dos processos erosivos.



Figura 7.25: Local de assoreamento do Córrego Água Quente no bairro Cidade Aracy.



Figura 7.26: Assoreamento e erosão na margem do Córrego Água Quente, no bairro Cidade Aracy.



Figura 7.27: Assoreamento e erosão na margem do Córrego Água Quente, no bairro Cidade Aracy.

Na Figura 7.28 observa-se um local onde aflora o arenito da Formação Botucatu e estão sendo depositados lixo e entulho. Tal atitude, além do impacto visual negativo, mal cheiro e risco para os moradores do entorno, também pode ocasionar a contaminação do solo e água subterrânea, uma vez que a permeabilidade destes materiais é alta, da ordem de  $9,2 \cdot 10^{-5}$  m/s, conforme determinado nos ensaios de infiltração.

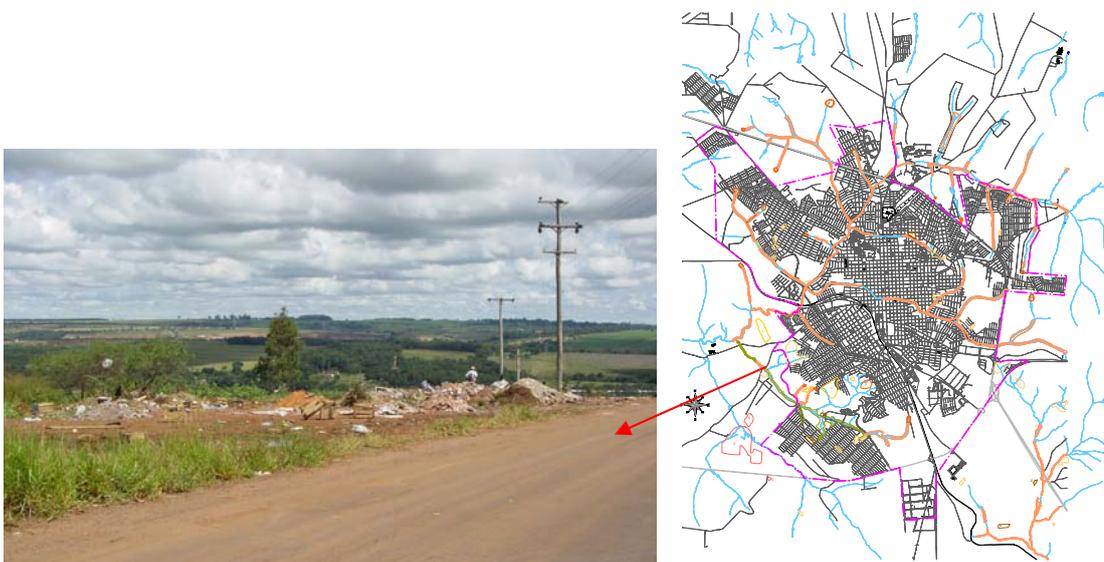


Figura 7.28 – Local próximo ao Bairro Cidade Aracy, com deposição de lixo e entulho.

### Micro-bacia do Córrego Água Fria

A micro-bacia do Córrego Água Fria (Figura 7.29) tem 10% da sua área ocupada por ocupações residenciais e 4,5% é área de exploração de areia. Nesta micro-bacia ocorrem as Formações Botucatu e Serra Geral. A maior parte das ocupações residenciais localizadas dentro desta micro-bacia estão sobre os materiais arenosos e em declividades médias a altas, entre 5 e 10%. Os maiores problemas de degradação ambiental encontrados referem-se à retirada da mata ciliar do Córrego Água Fria e à mineração de areia. A seguir, esses problemas serão comentados.

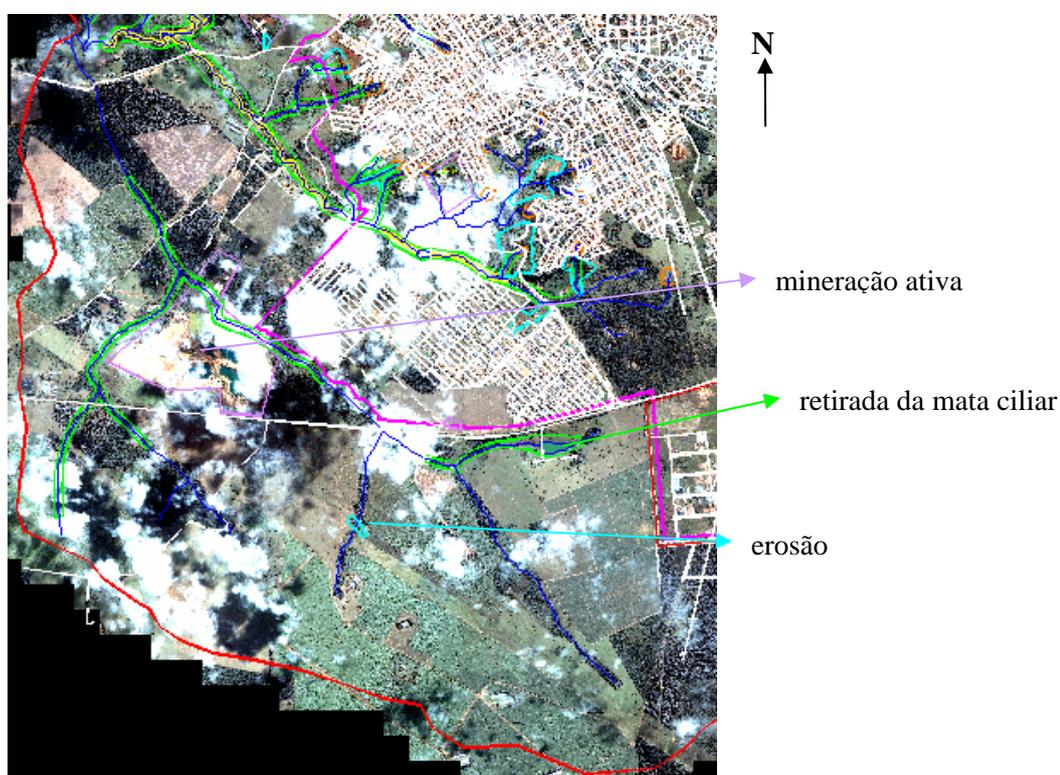


Figura 7.29: Micro-bacia do Córrego Água Fria. Degradações ocasionadas pela ação antrópica.

Nesta micro-bacia observou-se a retirada da mata ciliar em grande extensão das drenagens, o que não gerou maiores danos, principalmente, devido à alta permeabilidade dos solos arenosos, que permite a rápida infiltração das águas pluviais e também devido à ocupação urbana ainda estar relativamente afastada das drenagens. Nas Figuras 7.30, 7.31 e 7.32 pode-se observar as condições atuais das margens do Córrego Água fria, próximo da estrada do matadouro.



Figura 7.30: Margem do Córrego Água Fria, onde existe erosão causada pela retirada da mata ciliar



Figura 7.31: Córrego Água Fria, próximo do matadouro da cidade.



Figura 7.32: Margem do Córrego Água Fria onde houve retirada da mata ciliar.

Um exemplo dos riscos que a aproximação da ocupação urbana pode vir a causar é a contaminação das águas superficiais, como pode ser visto na Figura 7.33, no bairro Cidade Aracy.



Figura 7.33: Vazamento da fossa séptica nos fundos de uma casa no bairro Cidade Aracy, onde a topografia carrega o fluxo na direção do Córrego Água Fria.

Também nesta micro-bacia tem-se a prática da atividade de extração de areia, em função da presença da Formação Botucatu. Existe preocupação dos órgãos ambientais pelo fato de ter-se no local, área de recarga do Aquífero Botucatu e, conseqüentemente, dos riscos de contaminação deste aquífero. A Figura 7.34 mostra a atividade de mineração sendo desenvolvida bem próxima do loteamento Cidade Aracy, aproximadamente 500 metros entre os respectivos limites, o que causa impacto à área urbana em função do seu contínuo desenvolvimento naquela direção.



Figura 7.34: Vista do bairro Cidade Aracy da mineradora de extração de areia.

Atualmente, a área de extração de areia (Figura 7.35) ocupa 1,3 km<sup>2</sup> dentro da micro-bacia do Córrego Água Fria, tendo sido o lençol freático atingido a, aproximadamente, 10 metros de profundidade.

Segundo o Departamento de Proteção dos Recursos Naturais (DPRN) da região de São Carlos, a mineradora encontra-se em situação legalizada de suas atividades perante este órgão, pois possui 2/3 da propriedade com reserva legal florestal averbada.

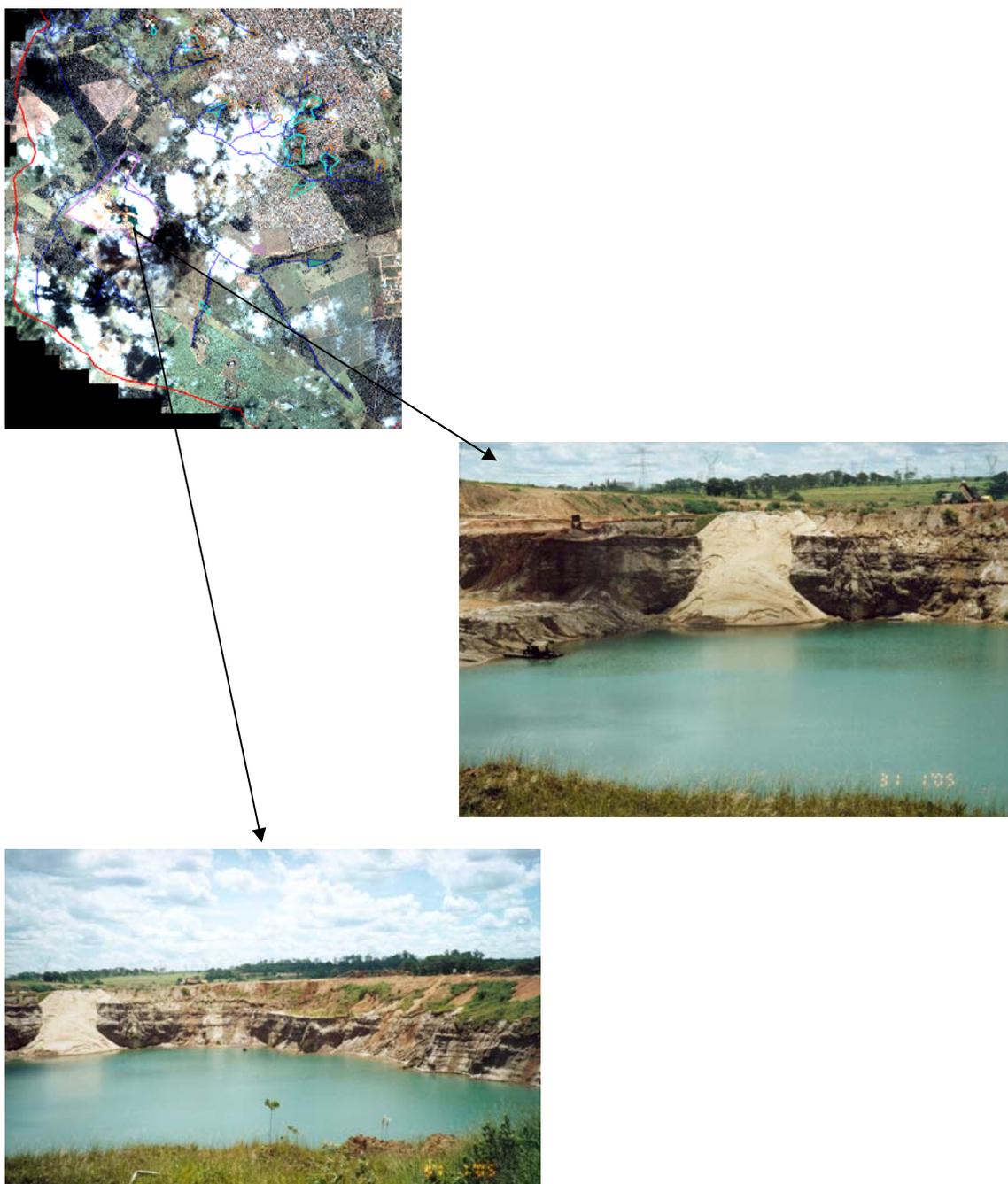


Figura 7.35: Extração de areia localizada à oeste da área urbana, na estrada de Ribeirão Bonito.

Na Figura 7.36 é mostrado o rejeito sendo depositado próximo à área de lavra, gerando riscos devido à alteração da topografia e da estrutura do material da superfície.



Figura 7.36: Área de depósito do rejeito da extração de areia. Barragem com aproximadamente 4 metros de profundidade.

### Micro-bacia do Córrego Mineirinho

A micro-bacia do Córrego Mineirinho (Figura 7.37) está totalmente inserida no perímetro urbano e predominantemente sobre o material Arenoso III, sendo 66% da sua área ocupada por loteamentos e o restante por áreas de reflorestamento e vegetação rasteira.

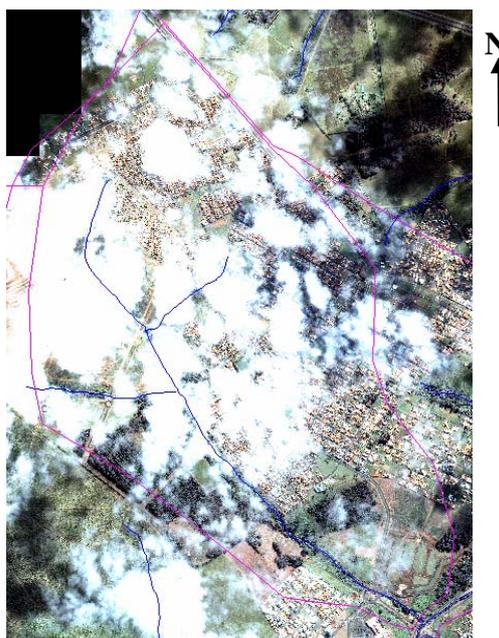


Figura 7.37: Micro-bacia do Córrego Mineirinho, totalmente urbanizada, com problemas de retirada da mata ciliar da nascente e ao longo da drenagem.

Como pode ser visto nas Figuras 7.38 e 7.39, a mata ciliar foi retirada em toda a margem da drenagem, restando apenas uma pequena faixa de 2 metros de cada lado do curso d'água. Em função das declividades observadas (2 a 10%) e dos valores do coeficiente de permeabilidade (K) do material inconsolidado ( $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  cm/s), pode-se dizer que ocorre maior infiltração.



Figura 7.38: Córrego Mineirinho. Mata ciliar retirada, restando faixa de proteção de somente 2 metros.



Figura 7.39: Margens do Córrego Mineirinho, onde o entorno é ocupado por shopping center e loteamentos de alto padrão.

### **Micro-bacia do Córrego Santa Maria Madalena**

A área da micro-bacia do Córrego Santa Maria Madalena é igual a 9,8 km<sup>2</sup>, estando 16% da sua área ocupada por residências e o restante por ocupações rurais

(Figura 7.40). Esta drenagem vai desde a sua foz junto ao Rio Monjolinho, até as nascentes situadas à montante da Rodovia Washington Luís.

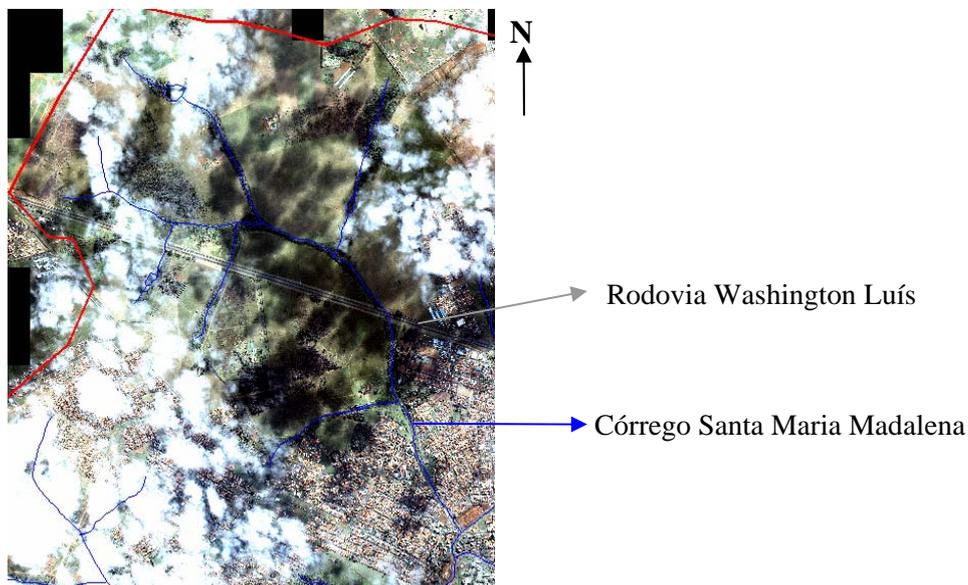


Figura 7.40: Micro-bacia do Córrego Santa Maria Madalena. Maior ocupação rural.

Esta micro-bacia apresenta a geologia caracterizada por dois grupos: Grupo Bauru (Formação Itaqueri) e Grupo São Bento (Formação Serra Geral). A Formação Itaqueri, predominante na área desta micro-bacia, é constituída por arenitos de granulometria média, de cimento calcário argiloso, tendo a presença de siltes, argilas e conglomerados. Já a Formação Serra Geral é constituída por basaltos fraturados e intemperizados, tendo próxima à base, intercalações de arenitos finos e médios.

Quanto aos materiais inconsolidados, predomina o material Arenoso III, que apresenta maior suscetibilidade à erosão por apresentar indícios de retrabalhamento e transporte significativo.

No entanto, nesta micro-bacia não foram verificadas degradações com erosão, o que pode ser explicado pelos valores de declividades médios (entre 2 e 10%) associados à baixa ocupação urbana da área da micro-bacia.

A degradação observada se refere à retirada da mata ciliar das margens e da cabeceira do Córrego Santa Maria Madalena (Figura 7.41). Com isso, apesar de não terem sido verificados casos de erosão graves, os locais de lançamento das águas pluviais sem obras de drenagem estão sujeitos à erosão superficial devido às características do meio físico.



Figura 7.41: Foz do Córrego Santa Maria Madalena (Córrego Monjolinho). Ausência da mata ciliar e alta taxa de impermeabilização no entorno.

A Figura 7.42 mostra a situação da região da foz do Córrego Santa Maria Madalena (Córrego Monjolinho) na época das chuvas mais fortes na região de estudo. A rede de drenagem pluvial não foi dimensionada adequadamente para transportar rapidamente todo o fluxo d'água gerado pelas chuvas que sofreu aumento com a alta taxa de impermeabilização e conseqüente escoamento superficial.



(a)

(b)

Figura 7.42: Córrego Santa Maria Madalena. (a) rua à margem esquerda da drenagem, inundada pela chuva intensa. (b) nível do curso d'água elevado 2 metros a mais que o normal.

### Micro-bacia do Córrego Gregório

A micro-bacia do Córrego do Gregório possui 20 km<sup>2</sup>, sendo 74% da área urbanizada, como mostra a Figura 7.43. Na região central da cidade ocorrem os maiores problemas de inundações devidos à impermeabilização e alta declividade.

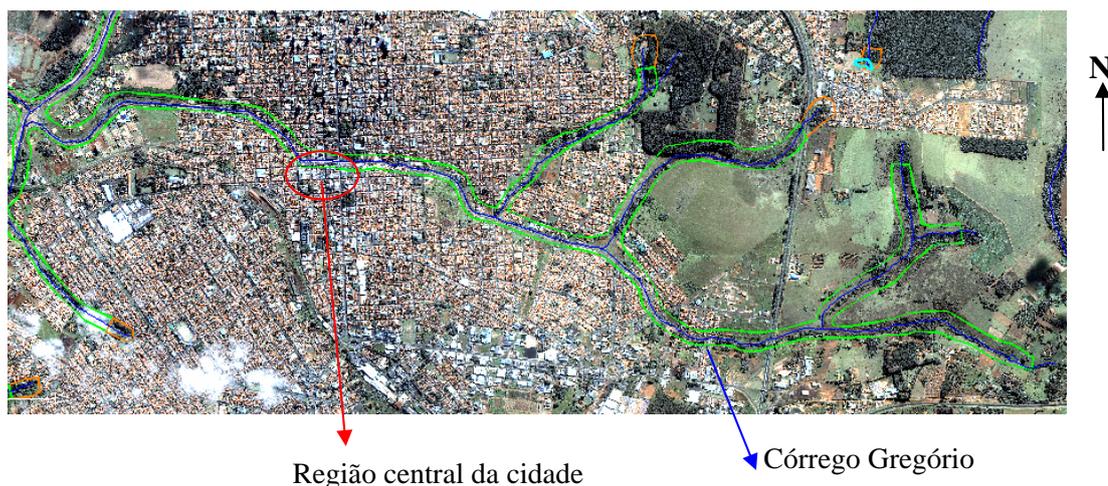


Figura 7.43: Micro-bacia do Córrego Gregório. Retirada da mata ciliar das margens de todo o curso d'água e problemas de inundações na região central da cidade.

Nesta micro-bacia predomina o Grupo Bauru (Formação Itaquerí), ocorrendo também o Grupo São Bento (Formação Serra Geral). As ocupações urbanas estão situadas predominantemente sobre o material transportado Arenoso III e na região mais próxima da drenagem, sobre o material Residual dos Magmatitos Básicos. A nascente do Gregório encontra-se sobre a Formação Itaquerí e em boas condições de preservação (Figura 7.44).



Figura 7.44: Nascente do Córrego Gregório em estado de boa conservação.

No entanto, a intensa urbanização provocou alterações no traçado do canal de drenagem, além de não ter considerado a topografia da micro-bacia, com médias a altas declividades (5 a 15%). A mata ciliar foi retirada e dado lugar às vias de tráfego, o que aumentou a impermeabilização e, com isso, o volume de água pluvial escoado na direção do canal de drenagem (Figura 7.45).



Figura 7.45: Córrego Gregório. Retirada da mata ciliar para dar lugar às vias de tráfego que provocou o aumento da taxa de impermeabilização.

Na Figura 7.46 pode-se observar a área próxima à cabeceira da drenagem, depois da rodovia Washington Luís, onde é depositado entulho.



Figura 7.46: Cabeceira do Córrego Gregório onde a mata ciliar foi retirada e atualmente é depositado entulho.

Na região central da cidade, o canal de drenagem foi retificado e revestido de concreto (Figura 7.47). Com isso, a alta taxa de impermeabilização no fundo de vale favoreceu o escoamento superficial levando ao acúmulo das águas pluviais na época das chuvas intensas e, conseqüentemente, às inundações.



Figura 7.47: Canal do Córrego Gregório retificado e revestido com concreto.

Outro ponto crítico verificado na cidade é na foz do Córrego Gregório, no rio Monjolinho. Neste ponto (Figura 7.48 e 7.49), as drenagens se encontram com velocidades de fluxo altas, devido à retificação do canal, ausência de vegetação ciliar, presença de material inconsolidado pouco permeável no canal (Residual dos Magmatitos Básicos).



Figura 7.48: Foz do Córrego Gregório sem mata ciliar ou faixa de proteção. Em época de chuvas intensas, águas pluviais são lançadas de altas declividades, aumentando a velocidade do fluxo do canal, provocando inundações.



Figura 7.49: Canal do Córrego Gregório com ausência de mata ciliar e presença do material Residual dos Magmatitos Básicos.

### Micro-bacia do Córrego Tijuco Preto

A micro-bacia do Córrego Tijuco Preto abrange uma área de 3,8 km<sup>2</sup>, sendo 100% urbanizada (Figura 7.50). A nascente do córrego foi canalizada e não existe mata ciliar ao longo de todo o canal. Nesta área observam-se declividades médias, entre 5 e 10%, tornando-se altas (>10%) na região do fundo de vale, especificamente.



Figura 7.50: Micro-bacia do Córrego Tijuco Preto totalmente urbanizada e degradada pela retirada da mata ciliar.

A formação geológica que ocorre nesta micro-bacia corresponde à Formação Itaquerí, do Grupo Bauru, a qual é composta predominantemente por arenitos finos a conglomeráticos, imaturos, com espessuras que raramente ultrapassam os 30 metros. O material inconsolidado predominante é o Arenoso III, cujo sedimento tem predominância areno-argilosa e apresenta coeficiente de permeabilidade alto, entre  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/s. Também ocorrem, em menores porções, os materiais residuais do Bauru e dos Magmatitos Básicos.

Nas Figuras 7.51 e 7.52 observa-se a execução de revitalização das margens do Córrego Tijuco Preto. A degradação existente deve-se à proximidade do canal de drenagem de residências e à ausência de mata ciliar.



Figura 7.51: Execução de recuperação das margens do Córrego Tijuco Preto.



Figura 7.52: Área sendo preparada para a recuperação das margens do Córrego Tijuco Preto.

Ao percorrer o canal do Córrego Tijuco Preto, verificou-se outros danos ao meio físico causados pela ação antrópica. O lançamento das águas pluviais em obras de drenagem dimensionadas de forma inadequada causou o rompimento das mesmas, como pode ser visto na Figura 7.53. No local havia uma ponte que foi danificada pela força das águas pluviais.



Figura 7.53: Obra de drenagem no Córrego Tijuco Preto rompida pela força das águas pluviais.

A Figura 7.54 mostra os danos causados pela força das águas pluviais às obras de drenagem e também o descaso da administração pública, visto que o rompimento aconteceu no verão de 2002.



Figura 7.54: Local onde as obras de drenagem foram rompidas pelas águas pluviais e abandonada pela administração pública. (a) Foto obtida em abril de 2002. (b) Foto obtida em novembro de 2005.

As Figura 7.55, 7.56 e 7.57 mostram a situação atual das margens do Córrego Tijuco Preto: ausência de mata ciliar, lixo e sedimentos depositados no canal de drenagem.



canal do córrego Tijuco Preto

Figura 7.55: Margens do Córrego Tijuco Preto degradadas: deposição de lixo e sedimentos, e ausência de mata ciliar.

canal do Córrego Tijuco Preto



Figura 7.56: Margens do Córrego Tijuco Preto: deposição de lixo e entulho. Proximidade das residências que ficam em risco em época de chuvas intensas.

canal do córrego Tijuco Preto



canal do córrego Monjolinho

Figura 7.57: Foz do Córrego Tijuco Preto (rio Monjolinho): ausência de mata ciliar e assoreamento.

### Bacia do Monjolinho

A bacia do rio Monjolinho (Figura 7.58) abrange uma área de aproximadamente 130 km<sup>2</sup>, sendo que 80 km<sup>2</sup> já foram comentados, pois correspondem às micro-bacias desta bacia.

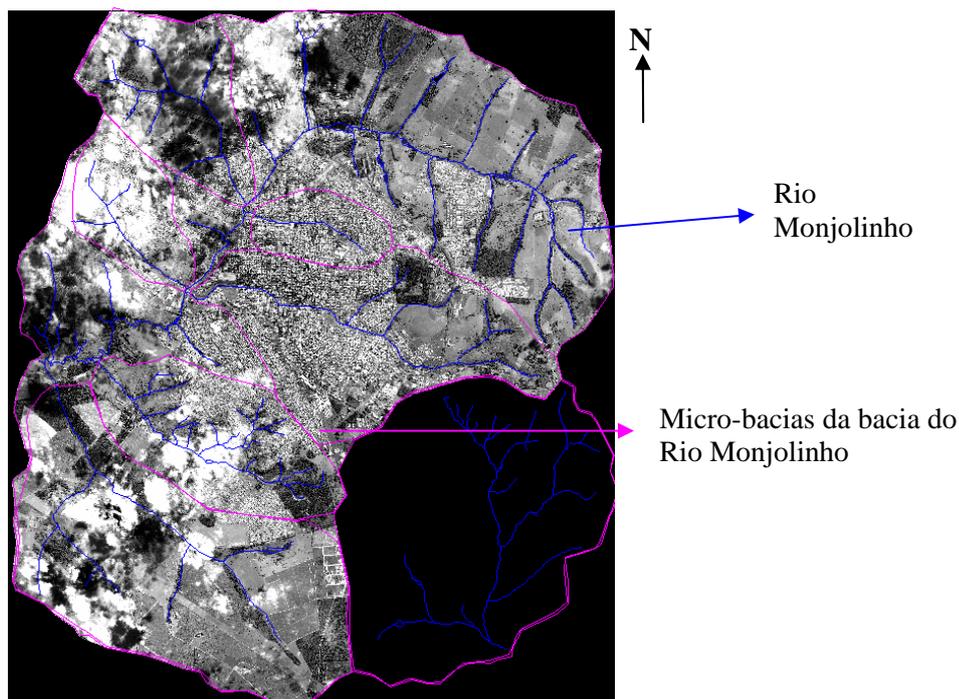


Figura 7.58: Bacia do Rio Monjolinho. Área de nascente ocupada por loteamentos.

As formações geológicas que ocorrem na cabeceira do rio Monjolinho correspondem ao Grupo Bauru (Formação Itaqueri). Observa-se que a mata ciliar foi pouco preservada e existem ocupações residenciais próximo às nascentes do rio. Em função do material inconsolidado (Arenoso III), presente na região do loteamento residencial, possui características que o tornam suscetível à erosão, a ocupação deveria ter sido evitada e, conseqüentemente os danos ao meio físico.

No entanto, isto não ocorreu e a cabeceira do rio Monjolinho está sendo degradada. Na Figura 7.59 é mostrada uma área no Bairro Douradinho na região leste da cidade. O entorno deste local está degradado pela deposição de lixo ocasionada pela ação antrópica. O fato de estar localizado próximo à nascente do Rio Monjolinho e a geologia do local ser o Arenito da Formação Itaqueri, causa certa preocupação em função das possibilidades de contaminação existentes.

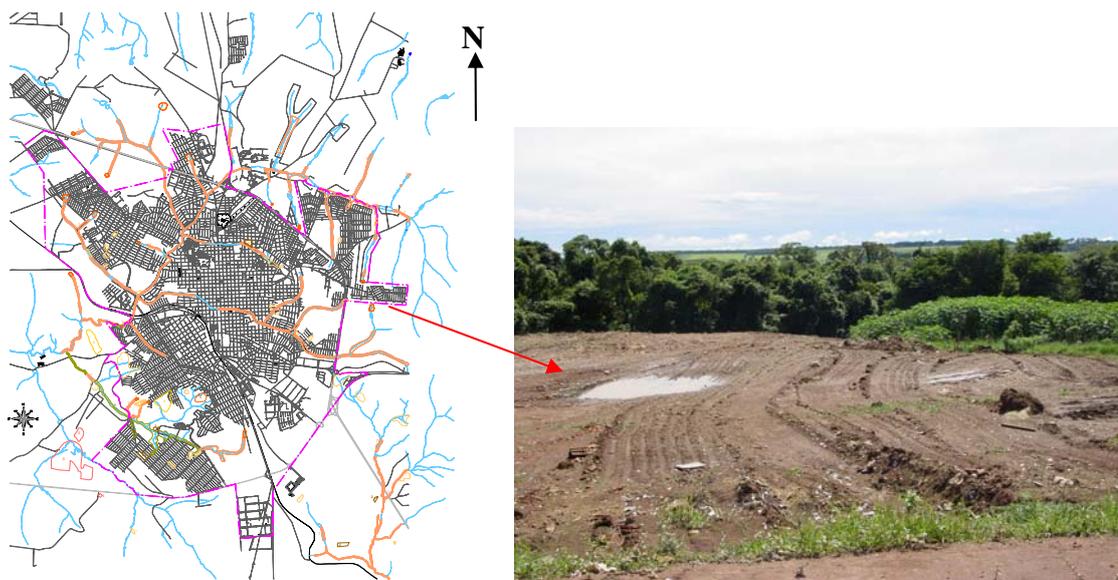


Figura 7.59 – Área degradada por ação antrópica, próxima à nascente do Rio Monjolinho, no bairro Douradinho.

Também nesta área da nascente do rio Monjolinho verificou-se a formação de processo erosivo, apesar da obra de drenagem existente (Figura 7.60 e 7.61). Esta erosão atingiu profundidade de aproximadamente 5 metros , largura de 10 metros e extensão de 100m.



Figura 7.60: Cabeceira do rio Monjolinho onde ocorreu formação de processo erosivo.



Figura 7.61: Erosão formada na nascente do rio Monjolinho, apesar da existência de obra de drenagem.

A degradação ambiental que se formou representa alto risco para a população local, pois a vegetação é alta e não existe isolamento da área (Figura 7.62).



Figura 7.62: Local na nascente do rio Monjolinho, onde existe erosão com alto risco para a população do entorno.

Na Figura 7.63 pode-se observar a profundidade que a erosão atingiu, bem como o lençol freático, o qual sofre risco de contaminação.



Figura 7.63: Profundidade da erosão atingiu o lençol freático que está sendo poluído com lixo e entulho.

Outra degradação observada dentro da bacia do rio Monjolinho foi a pedreira abandonada próximo ao bairro Botafogo, na estrada do matadouro da cidade (Figura 7.64). Nesta área foi explorada, por pouco tempo, rocha fraturada da Formação Serra Geral, que era utilizada em pavimentos de estradas vicinais.



Figura 7.64: Pedreira abandonada próximo ao bairro Botafogo.

Nesta área, não se observou queda de blocos, somente o solo exposto ao intemperismo pela ausência de vegetação (Figura 7.65 e 7.66).



Figura 7.65: Pedreira abandonada. Local onde a vegetação não foi recuperada e as declividades são altas.



Figura 7.66: Vegetação pouco recuperada e existência de alta declividade no local.

Observou-se que a falta do plano de recuperação do local provocou outros danos, como os sulcos de erosão (Figura 7.67) devido à alta declividade ( $>15\%$ ).



Figura 7.67: Sulcos de erosão provocados pela alta declividade, ausência de vegetação e fluxo de águas pluviais com alta velocidade.

### Micro-bacia do Córrego do Monjolinho

A micro-bacia do Córrego do Monjolinho (Figura 7.68) faz parte da bacia do Córrego Feijão, à sudeste do núcleo urbano de São Carlos, e possui 29,2 km<sup>2</sup>, sendo caracterizada por sua ocupação totalmente rural. Esta micro-bacia foi incluída na área de estudo pelo fato de que suas águas contribuem no abastecimento da cidade.

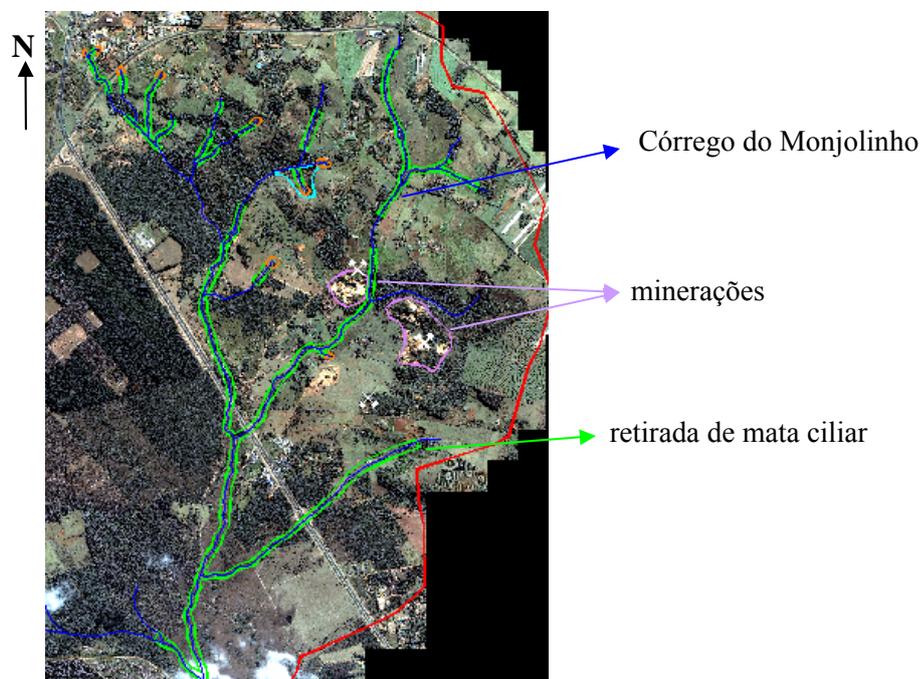


Figura 7.68: Micro-bacia do Córrego do Monjolinho localizada à sudeste do núcleo urbano de São Carlos, onde foram encontradas degradações como retirada de mata ciliar e minerações.

Nesta micro-bacia ocorrem as formações geológicas do Grupo São Bento (Formação Botucatu e Serra Geral) e Grupo Bauru (Formação Itaqueri). Os materiais

inconsolidados que constituem a área são os materiais transportados Arenoso I e III, em maior porção. Em regiões menores aparecem os residuais dos Magmatitos Básicos, residuais do Bauru e também os materiais Aluvionares.

À leste, pode-se observar duas pedreiras em atividade, uma na margem esquerda da drenagem (Figura 7.69) e outra na margem direita (Figura 7.70), sendo que as duas exploram os arenitos silicificados da Formação Botucatu. A área aproximada de exploração da primeira corresponde a 72.000m<sup>2</sup> e da segunda a 193.000m<sup>2</sup>, e segundo o DPRN, a atividade está legalizada quanto aos aspectos de averbação da reserva legal florestal.



Figura 7.69: Pedreira em atividade; exploração dos arenitos silicificados da Formação Botucatu.



Figura 7.70: Pedreira em atividade; exploração dos arenitos silicificados da Formação Botucatu.

A retirada da mata ciliar e também das áreas de nascentes foi outra degradação observada nesta micro-bacia, como mostra a Figura 7.71. Apesar de a região ser ocupada por propriedades rurais, não houve cuidado com a preservação da vegetação nativa. Nesta micro-bacia existe uma grande área de reflorestamento, plantação de cana-de-açúcar e outras culturas perenes.



Figura 7.71: Margem da estrada Washington Luís, Córrego Monjolinho. Retirada da mata ciliar e riscos de contaminação das águas superficiais.

#### **7.4. Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

Em função da grande quantidade de informações compiladas e produzidas nessa pesquisa, tornou-se necessário organizá-las a fim de que as consultas, sobreposições e análises pudessem ser realizadas de forma rápida e precisa.

Desta forma, optou-se por utilizar o SIG Spring 4.2, o qual é capaz de importar e manipular os mapas e cartas produzidos, associar um ou mais sistemas de banco de dados a um ou mais documentos cartográficos.

##### **7.4.1. Tratamento das informações**

Primeiramente, no Sig Spring 4.2 foi criado o Banco de Dados denominado SCarlos e o projeto denominado SC, no sistema de projeção UTM, Datum horizontal Córrego Alegre, Meridiano central 45°w e fuso 23.

Em seguida, os vetores dos documentos cartográficos, traçados no software AutoCad Map v3.0, foram exportados com a extensão dxf R12 e importados no Sig Spring4.2. Para cada tipo de informação foi criada uma categoria, conforme o modelo dos dados (Imagem, MNT, Temático, Objeto, Cadastral, Rede, Não-Espacial).

Para os documentos inseridos no modelo temático (Mapa de Materiais Inconsolidados, Mapa de Substrato Geológico) foram definidas as classes correspondentes, as quais foram associadas aos polígonos traçados.

O Mapa de Documentação foi inserido no modelo cadastral e foram criadas categorias objeto, correspondentes aos trabalhos realizados na área de estudo e às informações geradas neste trabalho. Desta forma tornou-se possível criar as tabelas de consulta do banco de dados através da inserção das informações de cada ponto descrito, amostrado e/ou ensaiado.

A carta de localização das áreas degradadas atuais foi inserida na categoria temática e teve seus polígonos classificados nas respectivas degradações. Também houve necessidade de criar a categoria cadastral para esta carta, com a finalidade de inserir as informações das planilhas de campo de cada degradação observada na cidade. Neste caso, foram criadas as categorias objeto de cada uma das degradações e associados os atributos definidos para as observações em campo.

A seguir, o banco de dados elaborado é apresentado de forma mais detalhada.

#### **7.4.2. Sistemas de banco de dados associados às informações pontuais**

A construção do banco de dados dos registros pontuais referentes aos trabalhos compilados e também gerados neste estudo envolveu o desenvolvimento de oito tabelas. Estas tabelas estão no formato DBF e fazem parte do sistema de banco de dados do Spring 4.2.

As tabelas contêm os atributos referentes aos resultados dos ensaios de determinação dos índices físicos obtidos em trabalhos anteriores (ZUQUETTE, 1981; AGUIAR, 1989; NISHIYAMA, 1989; MURO, 2000) (134 pontos), resultados de sondagens SPT e IPT obtidos por Bortolucci (1983) (135 pontos), resultados de ensaios realizados neste estudo em amostras indeformadas de materiais inconsolidados e dos ensaios de infiltração (15 pontos), e informações obtidas através de pontos visitados em campo (35 pontos).

Os atributos referentes aos resultados de ensaio de determinação dos índices físicos correspondem à umidade ( $w$ ), índice de vazios ( $e$ ), massa específica do solo ( $\rho$ ), massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ), massa específica seca ( $\rho_d$ ), CTC, granulometria, textura, espessura, coloração.

Quanto aos atributos correspondentes aos resultados das sondagens SPT e IPT são eles: cota, cota do nível d'água e mês correspondente, espessura da camada,

classificação da camada, índices de resistência (mínimo, médio, máximo), geologia provável.

A tabela dos resultados dos ensaios de infiltração realizados neste estudo contém os seguintes atributos: condutividade hidráulica (Kfs), material inconsolidado e taxa de infiltração.

As tabelas de pontos observados contêm as informações das planilhas de campo utilizadas nas visitas a cada degradação existente na cidade. A tabela das áreas degradadas por erosão contém os seguintes campos: situação atual, comprimento, largura, profundidade, tempo de existência, local de formação (drenagem ou encosta), obras executadas, vegetação, fluxo d'água, assoreamento, risco, perda da fertilidade do solo, perda da função econômica. A tabela das áreas degradadas por mineração contém os atributos referentes à situação atual, data da desativação (no caso da atividade ter sido desativada), plano de recuperação, visual, fluxo d'água, condições de estabilidade da escavação (grau de fraturamento, queda de blocos, inclinação de taludes), vegetação e rejeitos. Para as áreas degradadas por retirada de mata ciliar ou desmatamento de cabeceira de drenagem foi construída a tabela com os seguintes atributos: nome da drenagem, danos causados, tipo de ocupação atual.

A construção das tabelas foi limitada pela configuração do sistema de banco de dados do Spring 4.2, pois o campo do atributo é delimitado em oito caracteres e também não é possível alterar um atributo definido após sua inserção. Muitas vezes, durante a etapa de inserção das informações na tabela, sentiu-se a necessidade de alterar o tipo do atributo (inteiro, real, data, texto), no entanto, o sistema de banco de dados não permitia. Seria necessário remover o atributo e inseri-lo novamente, na forma desejada. Com isso, o resultado final de apresentação da tabela não foi totalmente adequado. Alguns atributos tiveram que ser abreviados, o que torna seu entendimento duvidoso para o usuário que faz a consulta ao banco de dados. Uma solução encontrada para contornar esta deficiência é a elaboração de uma legenda dos atributos que pode ser associada à tabela de consulta no formato doc ou rtx.

#### **7.4.3. Sistemas de banco de dados associados aos documentos cartográficos elaborados**

Os documentos cartográficos produzidos no AutoCad Map v3.0 e inseridos no banco de dados do Spring 4.2 foram o Mapa de Materiais Inconsolidados, o Mapa de Substrato Geológico e o Mapa de localização das áreas degradadas atuais na cidade de

São Carlos- SP. Estes documentos cartográficos foram inseridos na forma vetorial e deste modo, os polígonos puderam ser associados ao banco de dados.

No Spring 4.2 existem duas formas de dispor as informações cartográficas ao usuário, conforme a necessidade: na categoria temático (onde são definidas as classes das informações e estas são associadas aos polígonos), ou na categoria cadastral (onde os polígonos são associados ao objetos pré-definidos).

Neste estudo, os Mapas de Materiais Inconsolidados e de Substrato Geológico foram inseridos na categoria temático, e a Carta de localização das áreas degradadas foram inseridas nas duas formas, como temático e cadastral. Na categoria temático, os polígonos foram associados às classes pré-determinadas referentes ao tipo de degradação. Na categoria cadastral, os polígonos foram associados aos objetos correspondentes ao tipo de erosão em que foram definidos os atributos referentes às planilhas de campo, já comentados anteriormente.

A carta de declividades foi elaborada também no Spring 4.2, como forma de utilização da ferramenta do SIG. As curvas de nível digitalizadas foram inseridas no Spring 4.2, na categoria MNT, como amostras; foi gerada a grade tin e realizado o fatiamento, tendo sido as classes pré-definidas (0-2%, 2-5%, 5-10%, 10-15%, >15%). Observou-se que o resultado obtido ficou próximo da carta de declividades elaborada no software Surfer 8.0, a qual já foi comentada e é apresentada no anexo 5.

Com o banco de dados elaborado no Spring 4.2 foi possível realizar diversas consultas, as quais são exemplificadas a seguir.

#### **7.4.4. Exemplos de consultas que podem ser realizadas utilizando o banco de dados e os documentos cartográficos elaborados**

O Sistema de banco de dados do Spring 4.2 permite fazer consultas de diferentes formas, de acordo com a necessidade do usuário.

Uma das formas de consulta mais simples é feita pelo painel de controle, onde é possível selecionar o plano de informação (PI) desejado e visualizá-lo na tela. A Figura 7.72 mostra o PI Mapa de Materiais inconsolidados selecionado e desenhado na tela do Spring 4.2, onde também é possível exibir a legenda do PI.

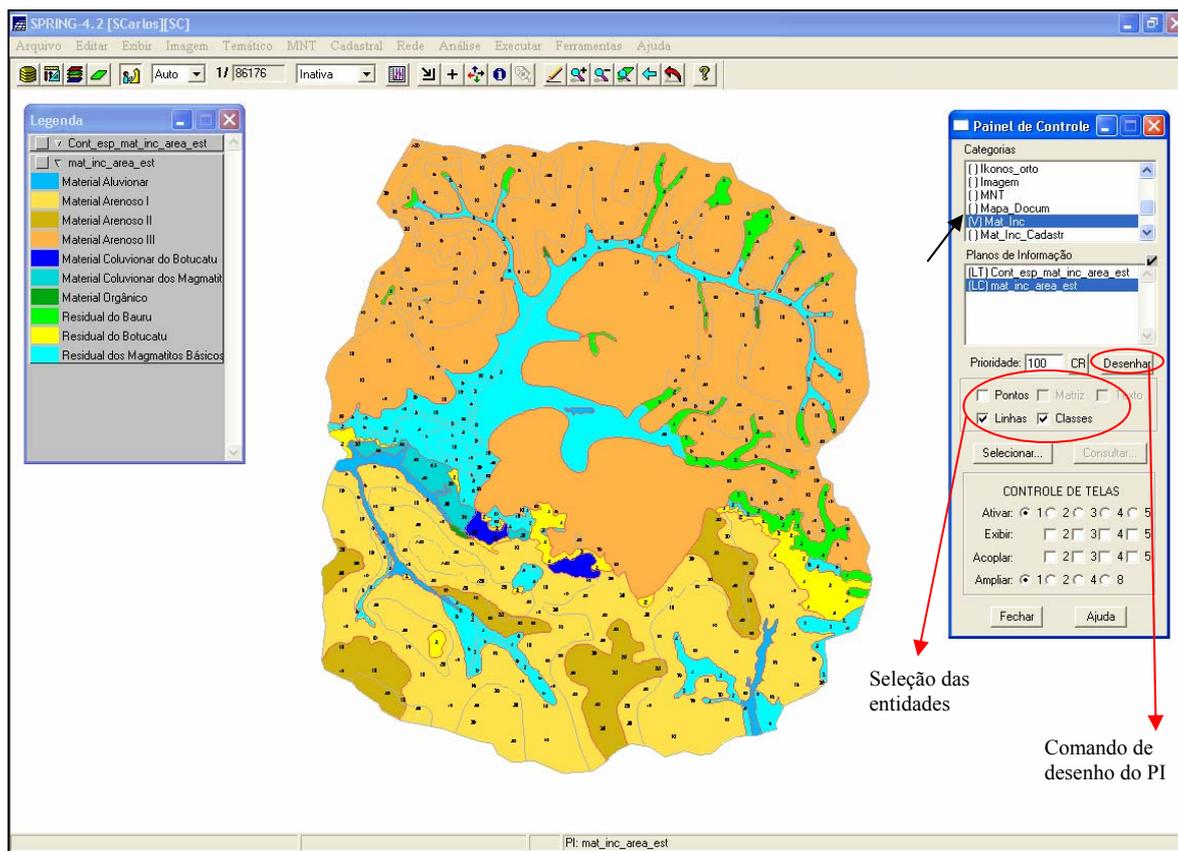


Figura 7.72: Consulta ao Banco de dados do Spring 4.2 através do Painel de controle, onde foi selecionado e desenhado o PI do Mapa de Materiais Inconsolidados.

Outra forma de consulta é a sobreposição e verificação das informações ponto a ponto. A Figura 7.73 mostra o PI do Mapa de Materiais Inconsolidados e o PI da Carta de declividades sobrepostos na tela do Spring 4.2, sendo feita a consulta através da ferramenta cursor de info, a qual apresenta a tela com o relatório dos dados (coordenadas UTM, classe de declividade, classe do material inconsolidado). Neste relatório também é apresentado o perímetro e a área do polígono consultado.





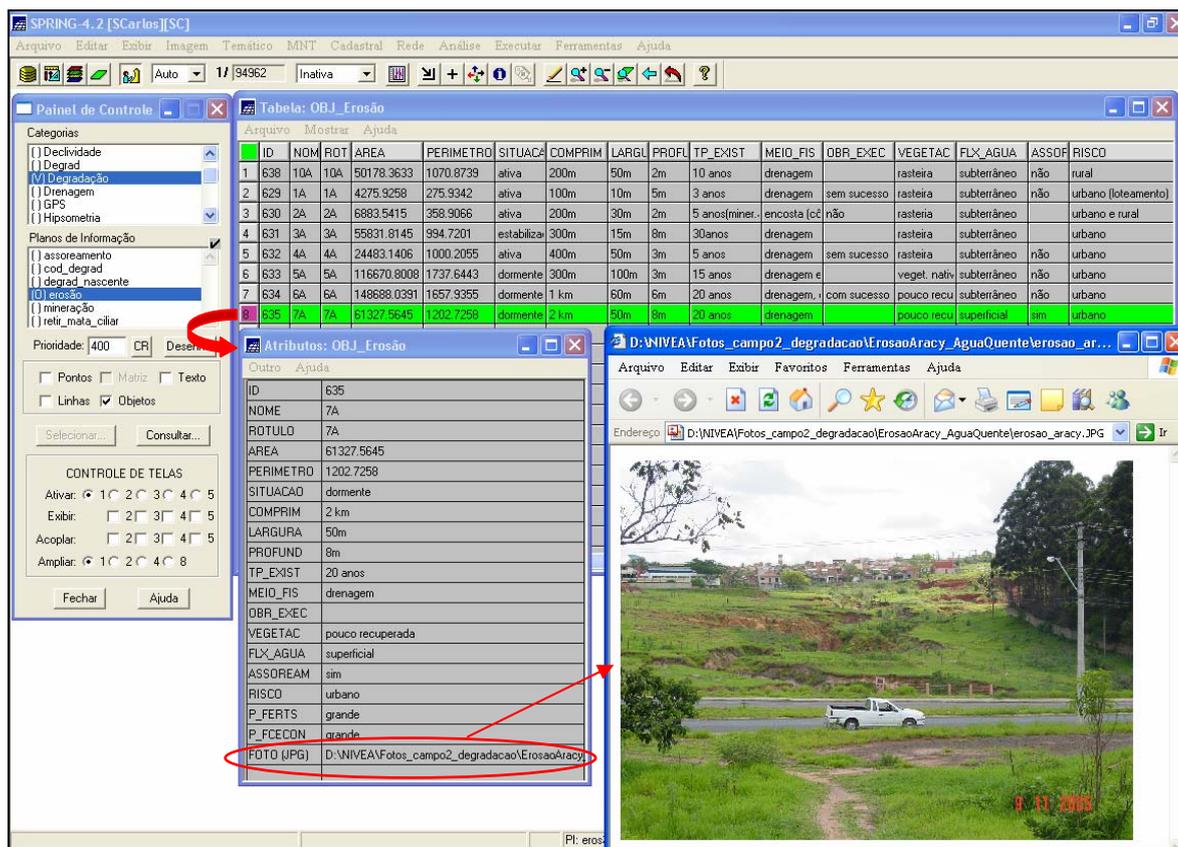


Figura 7.75: Consulta ao Banco de dados do *Spring 4.2* através da função consulta a objetos, visualização dos atributos e inserção de foto através de módulo que permite associação de dados de multimídia.

Conforme Câmara (1995), os recursos de consulta a mapas cadastrais ou redes no *Spring 4.2* vão além da simples apresentação da categoria de objetos. Os objetos poderão ser consultados considerando os seus atributos descritivos, ou ainda, o relacionamento espacial com outros. Sendo assim, utilizou-se o conceito de coleção de objetos, que permite extrair da tabela de objetos somente aqueles de interesse para o usuário, criando uma tabela auxiliar. Como exemplo, tem-se nas Figuras 7.76 e 7.77 uma consulta ao PI erosão, em que foi gerada a coleção somente das áreas em que a boçoroca atingiu a profundidade das águas subterrâneas. A primeira Figura mostra a criação da coleção na janela “Geração e Seleção de Coleção” e a segunda Figura mostra a tabela correspondente à coleção criada.

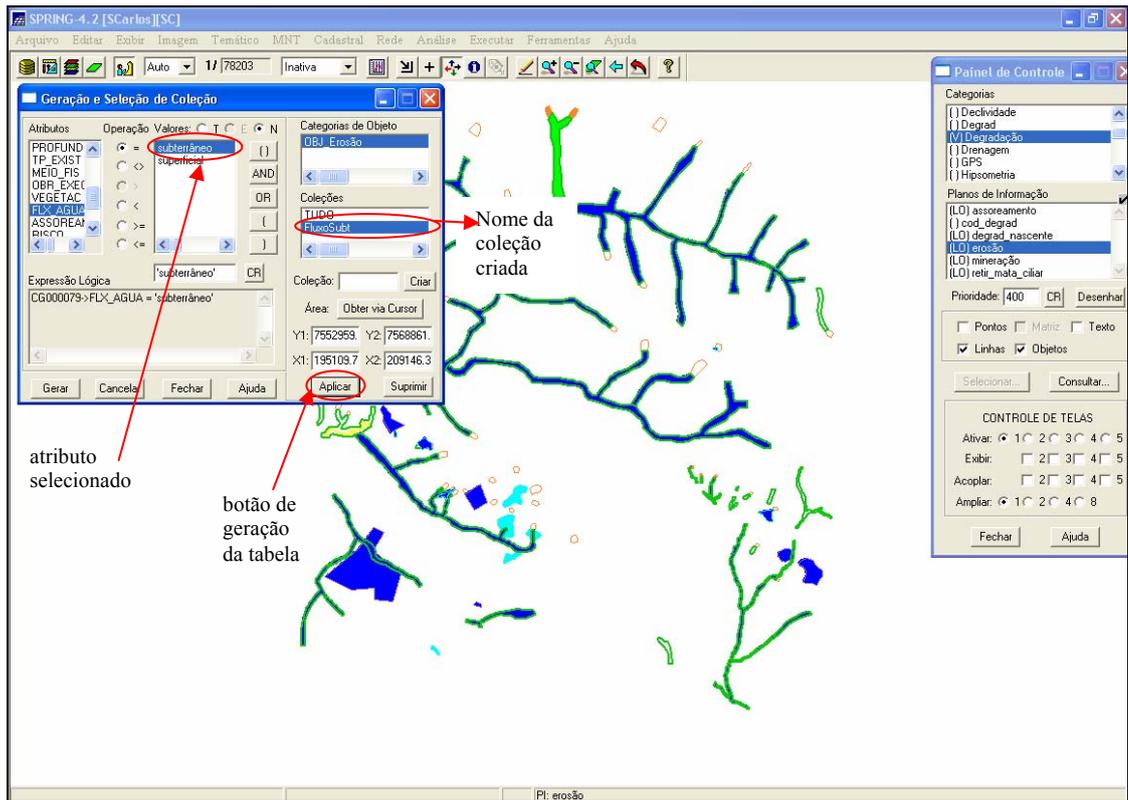


Figura 7.76: Consulta ao Banco de dados do Spring 4.2 através da função *geração de coleção*, onde foi criada a coleção “FluxoSubt” correspondente às áreas degradadas por erosões cuja profundidade atingiu as águas subterrâneas.

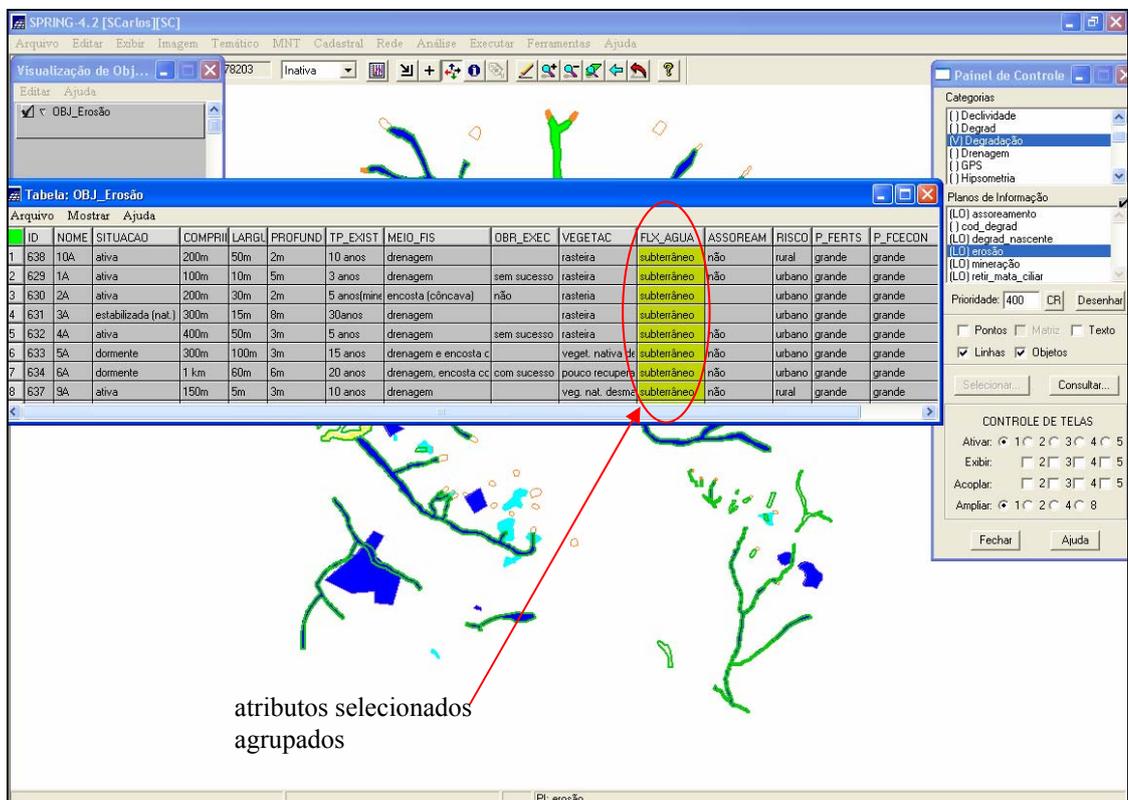


Figura 7.77: Geração da tabela contendo a coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d’água (FLX\_AGUA) subterrâneo agrupado.

Na seqüência, é possível gerar um PI de categoria Temática ou Cadastral a partir de um agrupamento ou consulta espacial realizada nos geo-objetos.

Uma vez realizado o agrupamento das erosões que atingiram o fluxo d'água subterrâneo, é possível materializar este procedimento em um outro PI, associado à categoria Temática ou Cadastral. A categoria Temática, bem como suas classes, já poderão ter sido criadas no banco de dados ou poderão ser criadas automaticamente por esta função. Nas Figuras 7.78 e 7.79 é mostrada a criação do PI da categoria cadastral que contém as áreas degradadas por erosão selecionadas.

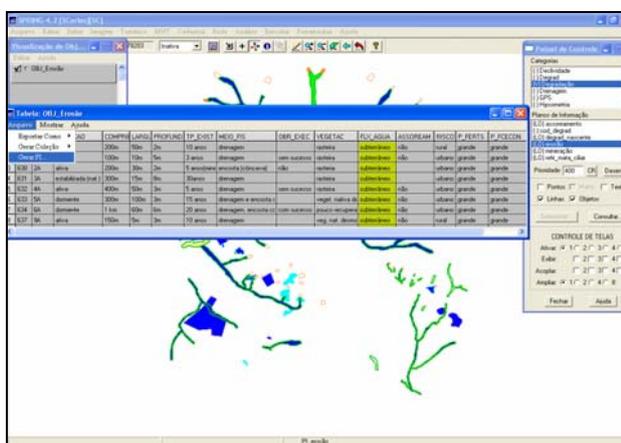


Figura 7.78: Criação do PI a partir da tabela de coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d'água subterrâneo.

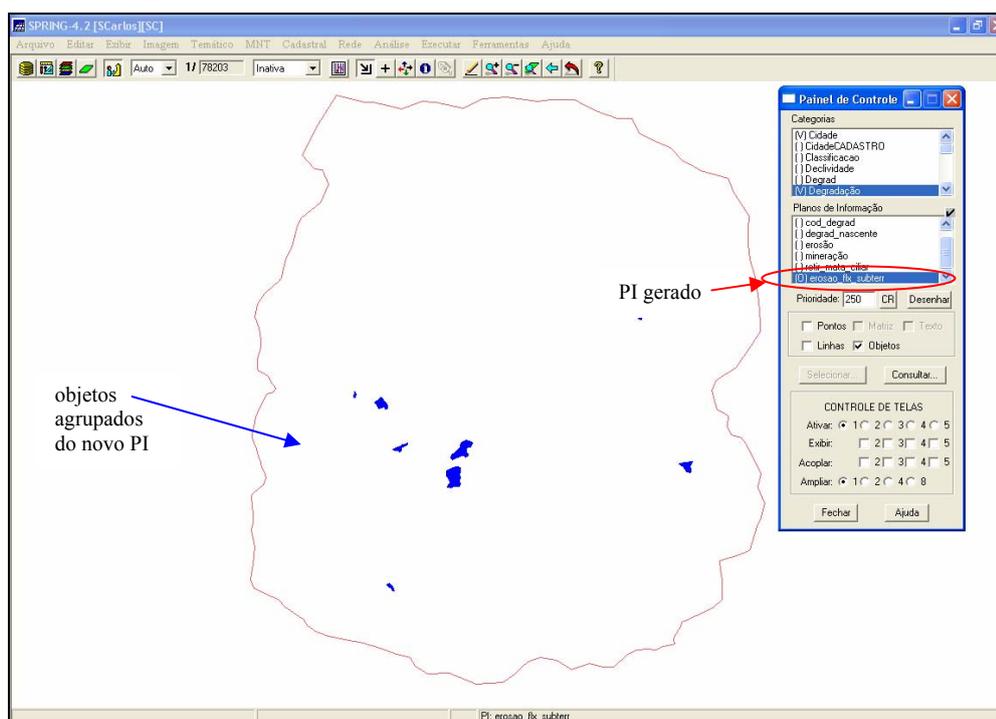


Figura 7.79: PI da categoria cadastral, gerado a partir da tabela de coleção de objetos erosão com o atributo fluxo d'água subterrâneo.

O SIG Spring 4.2 também possui a ferramenta Cruzamento de planos de informação, a qual lista todos os PI (temáticos e cadastrais, digitais e redes, e também permite uma listagem multi-seleção, onde são selecionados quantos PI serão cruzados) (Figura 7.80).

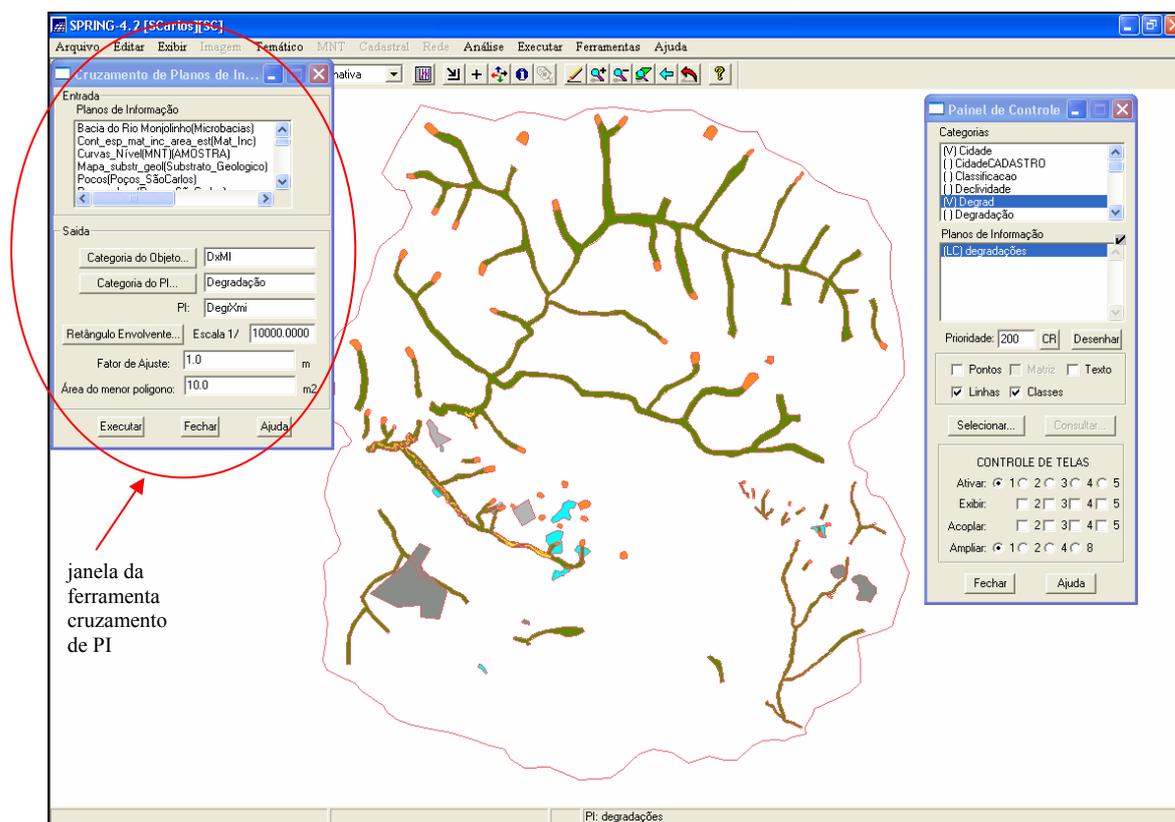


Figura 7.80: Janela de seleção dos PI que serão cruzados para a geração de um novo PI.

Pode-se também gerar Mapas de distâncias que representam um tipo de análise de proximidade (medida de distância entre objetos, comumente medida em unidade de comprimento) que apresenta zonas com larguras especificadas (distâncias) em torno de um ou mais elementos do mapa.

Neste estudo foi gerado o mapa de distância para as drenagens da cidade, a fim de analisar o quanto a ocupação urbana se aproximou das áreas ribeirinhas e a interferência desse comportamento para o surgimento das degradações ambientais. Na Figura 7.81 observam-se 3 classes de distâncias definidas para esta análise: de 0 a 30m, de 30 a 50m, de 50 a 100m, as quais representam a faixa marginal de proteção ao longo de cursos d'água definidas pelo Código Florestal – Lei n° 7.803, de 18 de julho de 1989.

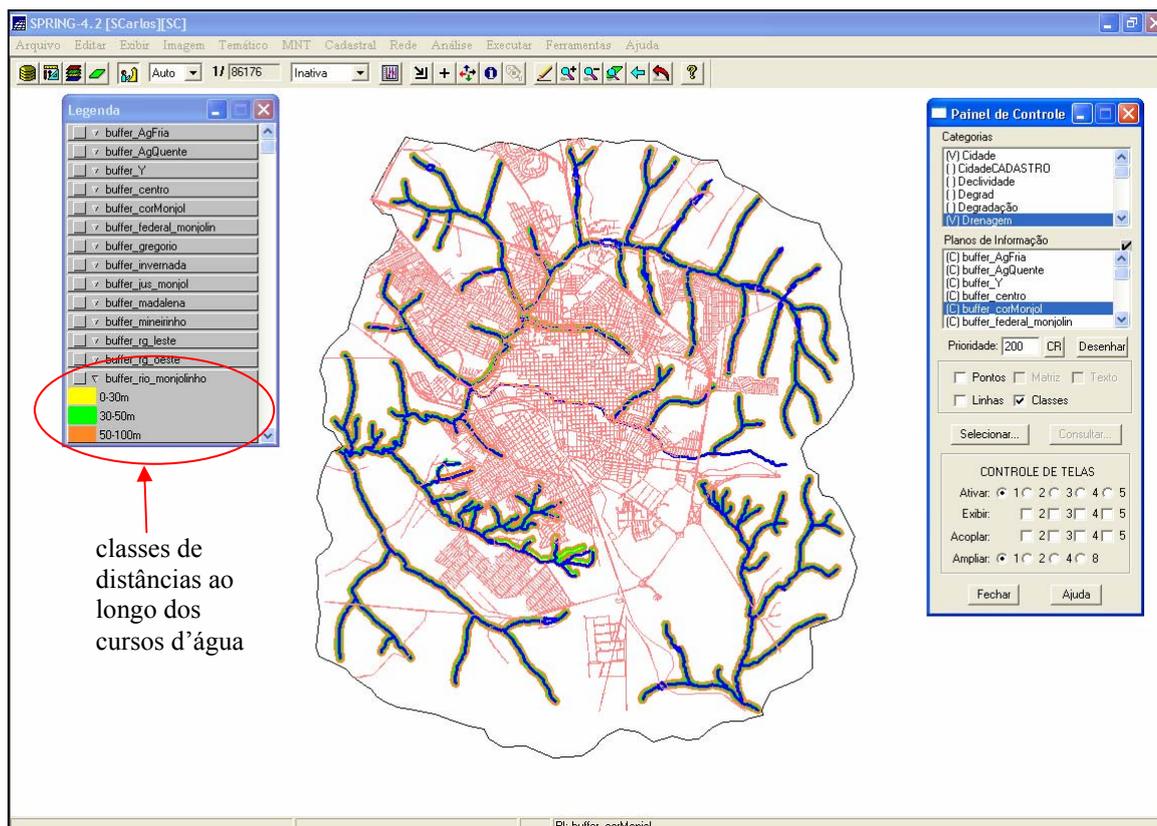


Figura 7.81: Mapa de distância gerado no *Spring 4.2*, as quais representam as faixas de proteção ao longo de cursos d'água.

Nesta análise foi possível observar que a ocupação urbana não respeitou a faixa de proteção ao longo de vários cursos d'água. Como exemplo, observa-se ao longo do Córrego Gregório, na região central da cidade, área mais crítica onde ocorrem inundações nas épocas de chuvas intensas. Na Figura 7.82, a imagem Ikonos, sobreposta com o buffer de 30 metros gerado, mostra a densidade de ocupação urbana e, conseqüentemente, de impermeabilização que ocorreu nas margens desta drenagem.

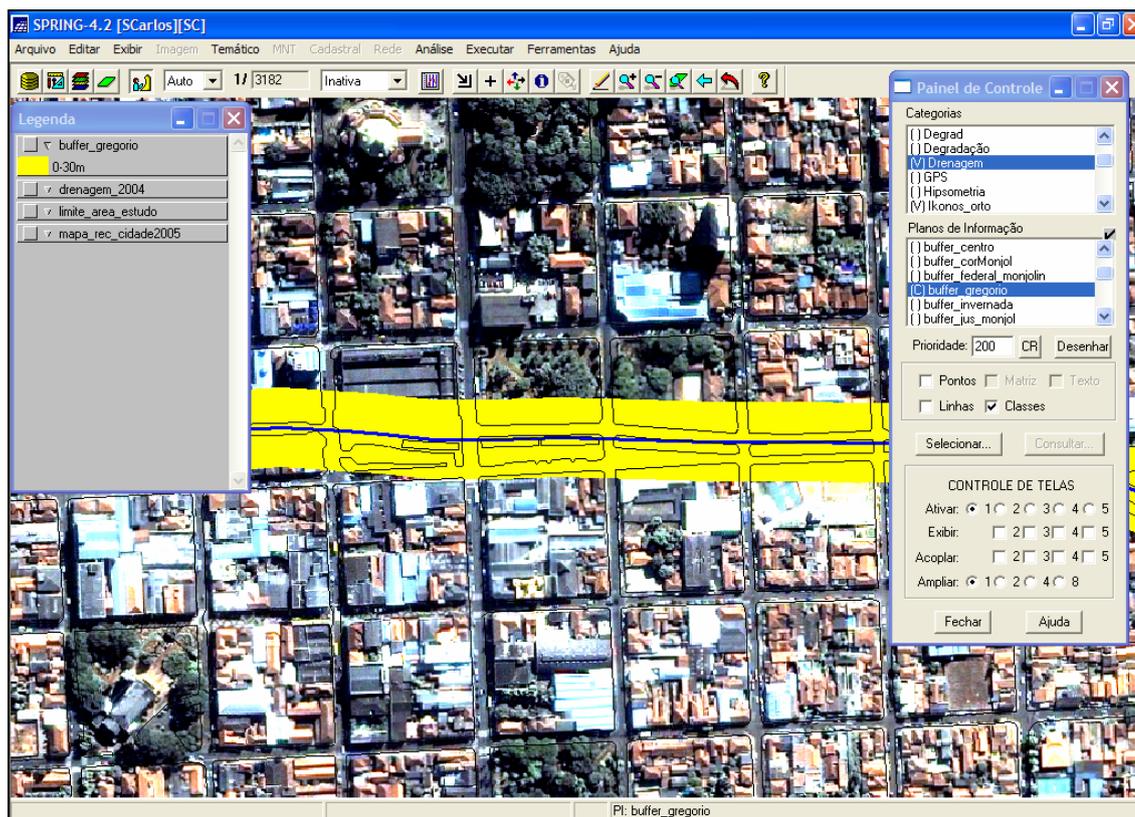


Figura 7.82: Imagem Ikonos sobreposta pelo *buffer* igual a 30 metros do mapa de distâncias ao longo do Córrego Gregório. A ocupação urbana invadiu a faixa de proteção do curso d'água, aumentando a impermeabilização e, com isso, o risco de inundações.

Esta ferramenta tem grande importância, principalmente no caso de prevenir novas áreas de desmatamento devido à ocupação inadequada. Na Figura 7.83 observa-se a área de cabeceira do Rio Monjolinho, onde um loteamento está sendo construído, apesar da legislação ambiental delimitar a área de proteção. Como consequência observa-se o desmatamento da vegetação nativa e a formação de processos erosivos. Através da análise do Mapa de Distância é possível monitorar áreas de risco de degradações e evitar impactos maiores ao meio físico.

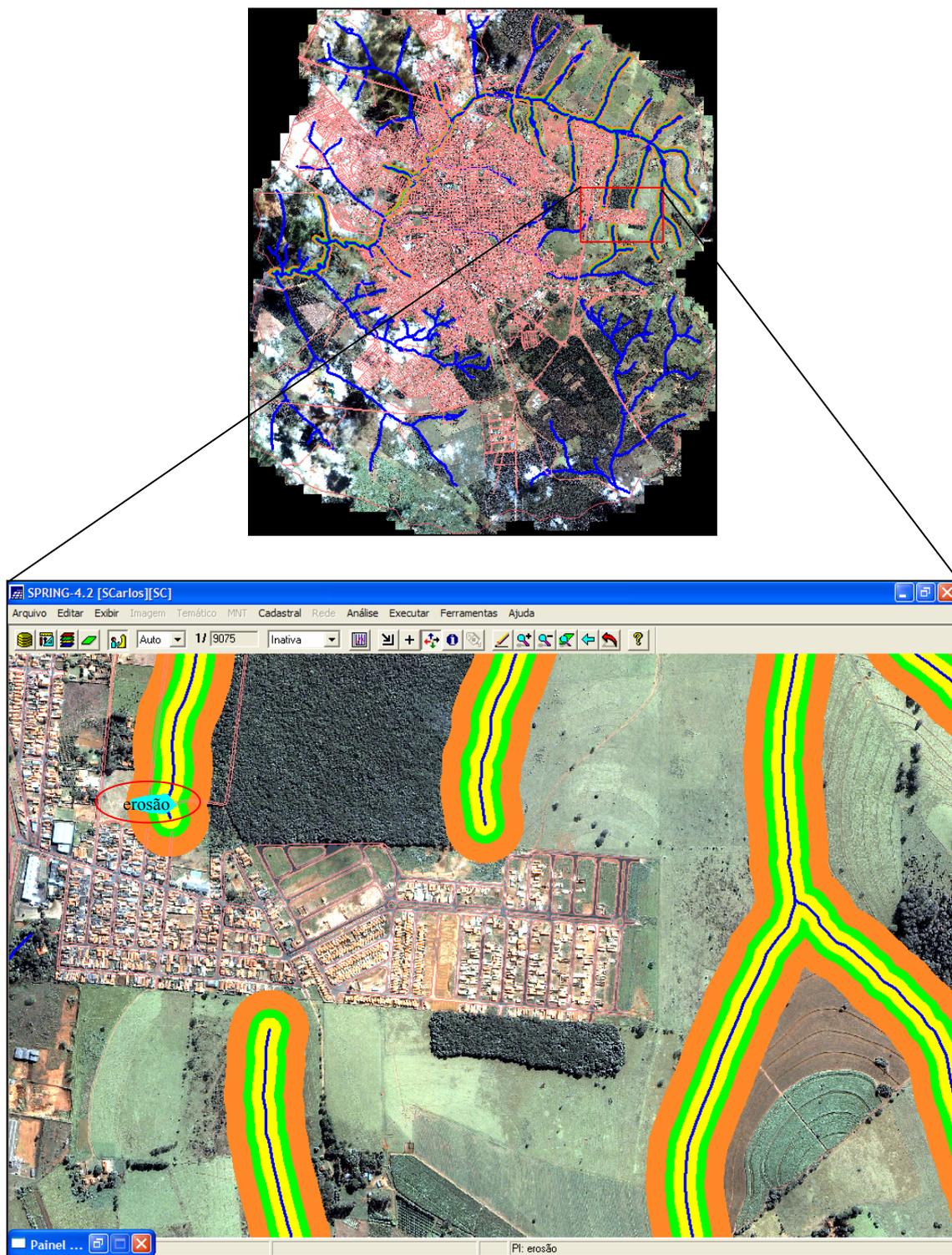


Figura 7.83: Cabeceira do rio Monjolinho, onde a visualização da imagem Ikonos e do mapa de distância permitem verificar que a ocupação urbana invadiu a faixa de proteção do curso d'água e ocasionou a degradação do meio físico.

As ferramentas disponibilizadas pelo Spring 4.2 permitiram sobrepor os diferentes atributos inseridos em tabelas e nos documentos cartográficos (caracterização

do meio físico, ocupação urbana) e, com isso, agilizaram as análises e promoveram conclusões mais precisas a respeito do meio físico da cidade de São Carlos.

Além disso, também observou-se que o Sistema de banco de dados do Spring 4.2 permite que usuários menos especializados possam realizar as consultas de forma fácil e dinâmica e obtenham os resultados desejados.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES**

---

### **8.1. Considerações Finais**

#### **8.1.1. Contribuições do geoprocessamento para o estudo das degradações ambientais**

A metodologia proposta neste estudo visou conhecer a situação atual do meio físico da cidade de São Carlos, com maior enfoque nas degradações ambientais ocorridas, tendo o geoprocessamento como ferramenta principal para as análises.

Os resultados obtidos com a realização da fotointerpretação nas fotografias aéreas dos anos de 1962, 1978, 1998 e 2000 contribuíram com a análise temporal de evolução das degradações e a influência da ocupação urbana neste fato, como já foi apresentado no item 7.1. No entanto, a diversidade de escalas, algumas pequenas para as finalidades deste projeto, especialmente dos anos de 1962 e 1978, dificultaram a obtenção de informações mais detalhadas.

Pode-se observar que as degradações ambientais verificadas poderiam ter sido minimizadas se a expansão urbana tivesse sido orientada por diretrizes de planejamento urbano baseadas nas aptidões e restrições do meio físico.

O levantamento das áreas degradadas, feito primeiramente nas fotografias aéreas de 1998, em função da escala 1:8.000, gerou a base para a elaboração da “Carta de localização das áreas degradadas atuais na cidade de São Carlos-SP”.

A utilização da imagem Ikonos ortoretificada permitiu atualizar a fotointerpretação realizada nas fotos de 1998. Também permitiu obter dimensões das áreas degradadas que seriam difíceis de serem obtidas em campo, como comprimento e largura de erosões e de áreas de mineração, extensão do desmatamento ao longo das drenagens, entre outras observações. A Figura 8.1 mostra a imagem Ikonos sobreposta pelo vetor da área degradada pela erosão existente no Bairro Cidade Aracy, no software *AutoCad 2004*, onde foi possível obter as dimensões de comprimento e largura da degradação.



Figura 8.1: Imagem Ikonos sobreposta com o vetor de degradação por erosão (local: Bairro Cidade Aracy), onde foi possível obter dimensões da área, como por exemplo, o comprimento da erosão.

Em função da resolução da imagem Ikonos (PSM, 1m), também foi possível verificar a forma como os processos erosivos se apresentam na área de estudo. Na Figura 8.2 pode-se observar a erosão marginal que se formou devido a ausência da vegetação ciliar e ao escoamento concentrado no curso d'água. Conforme visto em Carson e Kirkby (1975), este escoamento concentrado em solos finos formam um conjunto de canais bem definidos e sub-paralelos que se estende para as partes mais baixas da encosta. Como forma de prevenção do aumento da degradação, deve-se observar o desenvolvimento do processo, pois no caso destes sulcos convergirem para um ponto específico, podem formar um canal permanente ou ravina.

No caso da Figura 8.3, os sulcos convergiram para um ponto específico, levando ao surgimento de boçorocas.

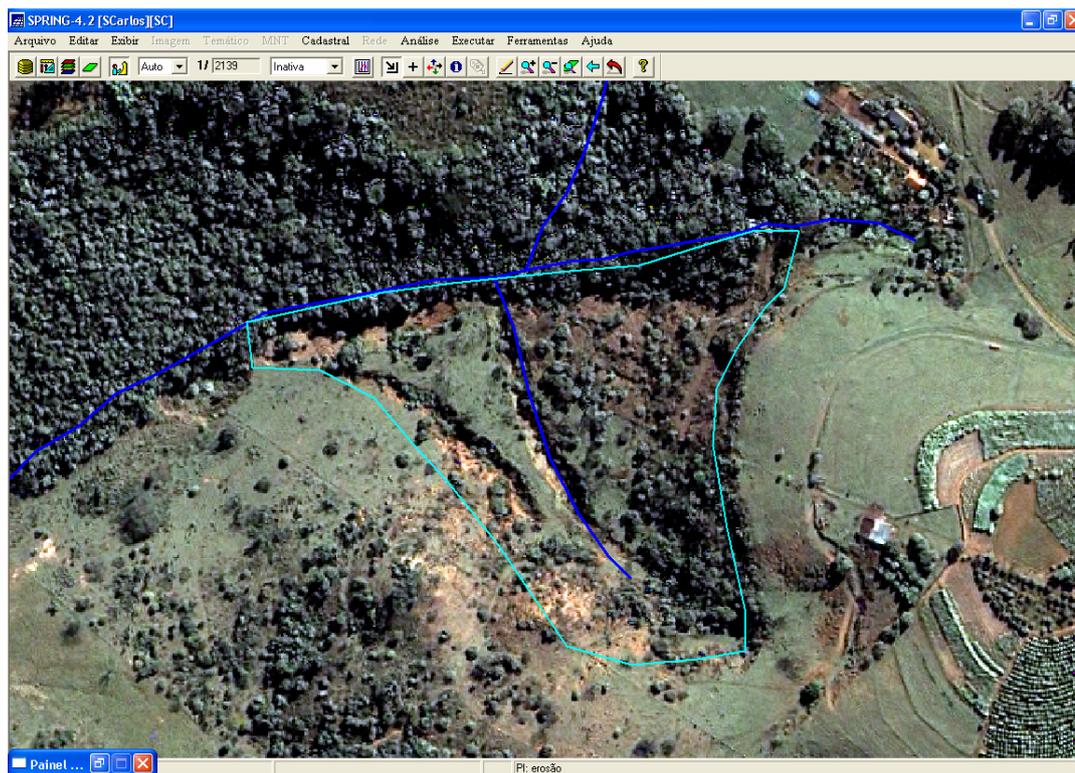


Figura 8.2: Imagem Ikonos sobreposta pelos vetores de drenagem e da degradação por erosão. A resolução da imagem permite observar a erosão marginal que se formou devido a ausência da vegetação ciliar e ao escoamento concentrado no curso d'água.

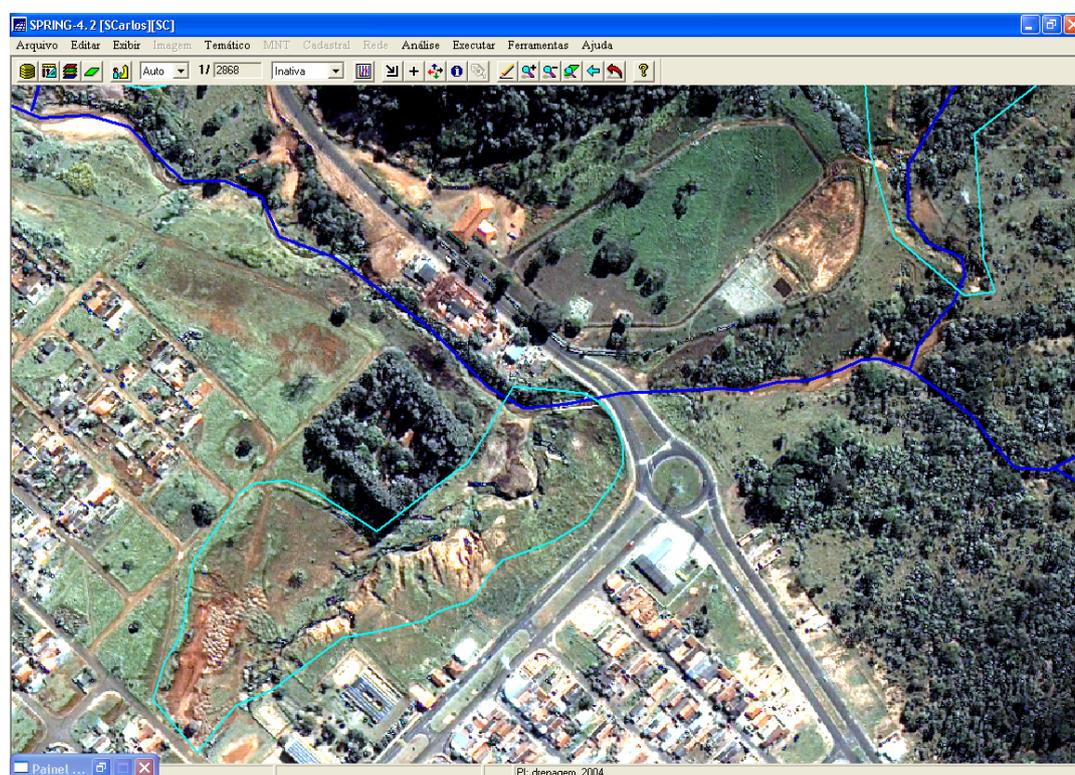


Figura 8.3: Imagem Ikonos sobreposta pelos vetores de drenagem e da degradação por erosão. A resolução da imagem permite observar que neste caso os sulcos de erosão convergiram para um ponto específico, levando ao surgimento de boçorocas.

As ortofotos geradas, assim como a imagem Ikonos, permitiram obter dimensões das áreas degradadas que seriam difíceis de serem obtidas em campo.

Com as ortofotos do ano de 1998 e a imagem Ikonos ortorretificada do ano de 2004, foi possível analisar o aumento ou a diminuição do tamanho e extensão de cada degradação observada. Um exemplo desta análise é mostrado nas Figuras 6.4 e 6.5, onde observa-se a vegetação nativa preservada na cabeceira do Rio Monjolinho na imagem do mosaico das ortofotos no ano de 1998 (Figura 8.4) e o desmatamento ocorrido nesta área para instalação de um loteamento, no ano de 2004 (Figura 8.5). Para a visualização das imagens e sobreposição dos vetores das degradações foi utilizado o SIG Spring 4.2.

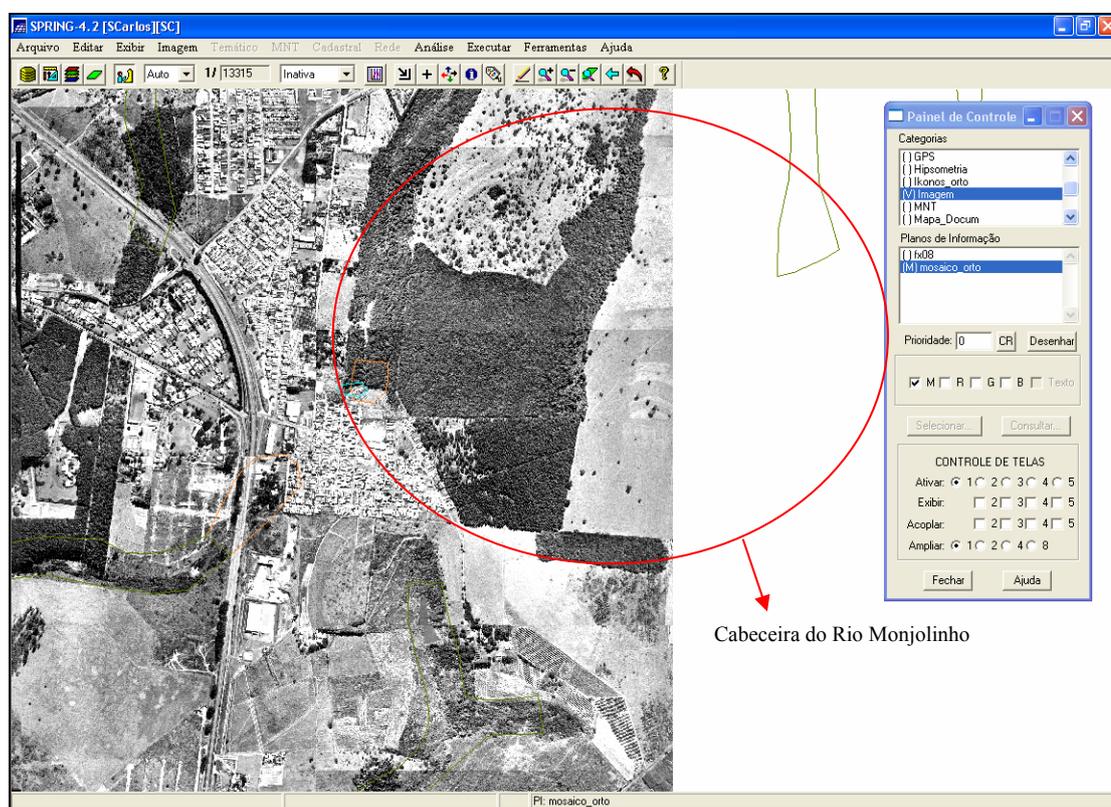


Figura 8.4: Mosaico ortorretificado do ano de 1998 da área da cabeceira do Rio Monjolinho, onde observa-se a preservação parcial da vegetação nativa.

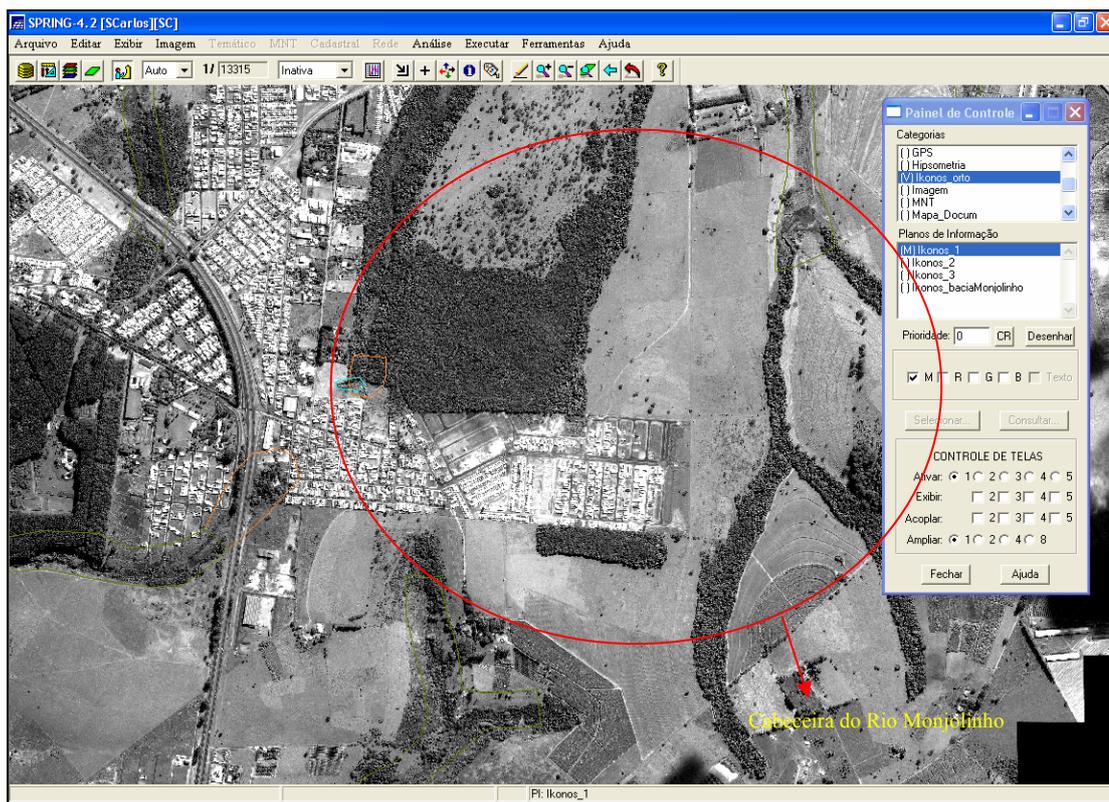


Figura 8.5: Imagem Ikonos ortoretificada do ano de 2004 da área de cabeceira do Rio Monjolinho, onde observa-se o desmatamento ocorrido para a instalação de loteamento.

As análises do meio físico realizadas no Spring 4.2 tornaram-se rápidas devido à facilidade de sobreposição das informações cartográficas. Como já foi apresentado anteriormente, o Sistema de banco de dados do Spring 4.2 permite obter informações a respeito de cada ponto da área de estudo.

No caso da análise dos materiais inconsolidados e substrato geológico existente em cada polígono correspondente à determinada degradação, foi possível verificar e analisar os respectivos comportamentos, causas e conseqüências do local degradado. A Figura 8.6 mostra esta análise e o resultado obtido para uma área degradada à leste do núcleo urbano, em área de nascentes. No ponto selecionado, observa-se a presença da Formação Botucatu e declividade maior que 15%, o que justifica a fragilidade da área e destaca a importância da conservação do meio físico.

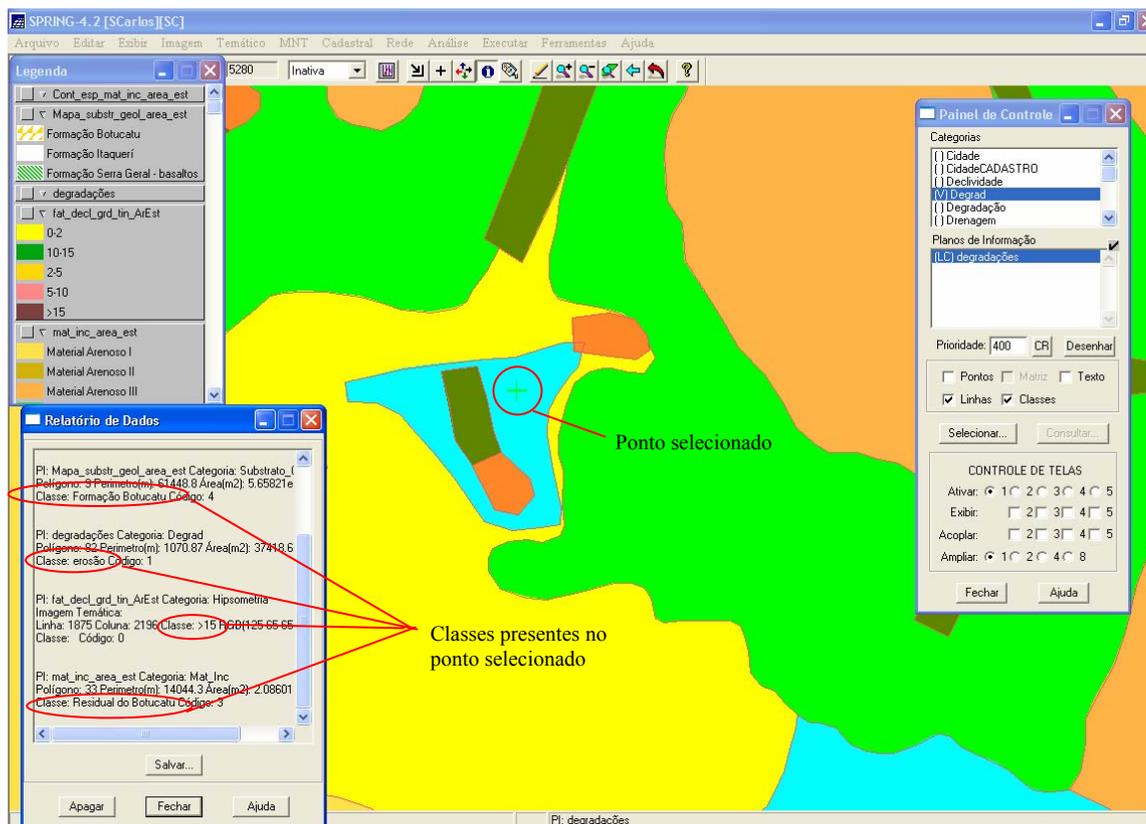


Figura 8.6: Análise do meio físico existente no local onde ocorreu processo erosivo, utilizando o *Spring 4.2*. Os planos de informação ativos na tela referem-se à declividade, materiais inconsolidados, substrato geológico e degradação.

Na Figura 8.7 pode-se observar, através da análise do banco de dados do Spring 4.2, que as áreas degradadas por erosão ocorrem em locais que apresentam as características de maior fragilidade, ou seja, áreas de nascentes de drenagens, altas declividades e presença da Formação Botucatu. O ponto selecionado para consulta simplificada na tela do Spring 4.2 apresentou o relatório de dados, que pode ser salvo no formato txt.

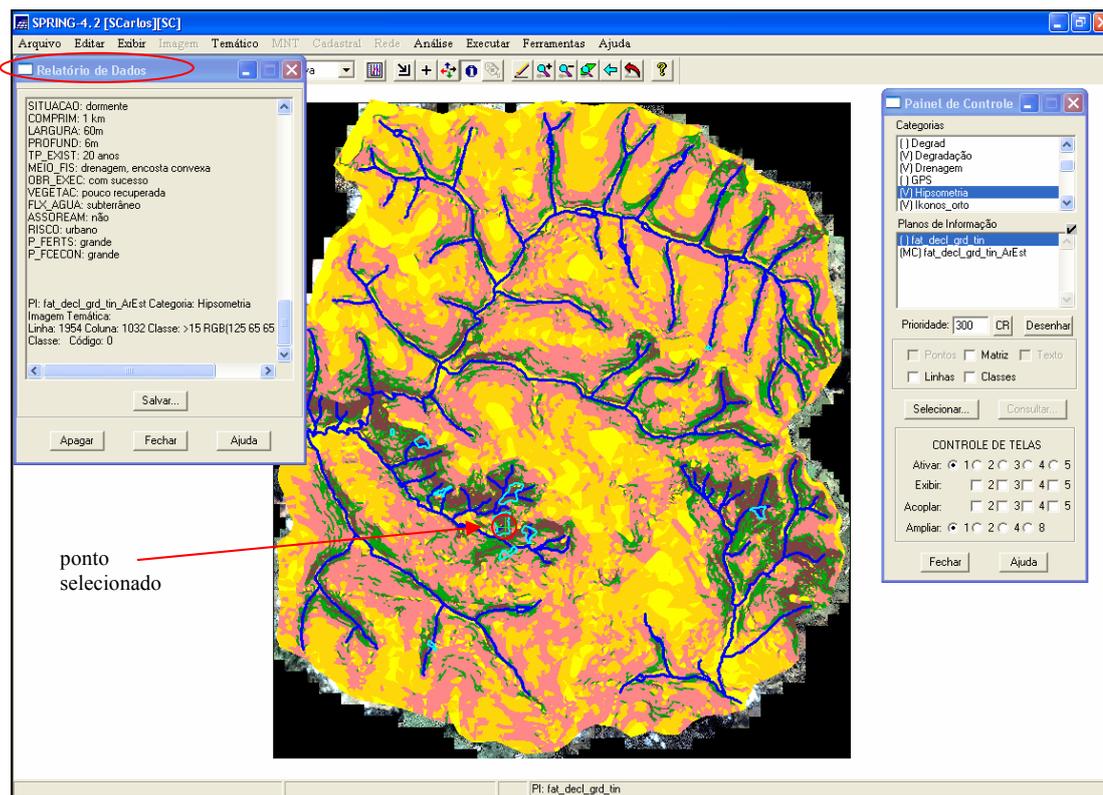


Figura 8.7: Tela do *Spring 4.2*, cuja consulta simplificada gerou as informações comuns a todas as áreas degradadas por erosão: alta declividade, presença da Formação Botucatu, áreas de nascentes.

#### 8.1.1.1. Comparação entre o uso da imagem Ikonos ortorretificada e das ortofotos no estudo de áreas degradadas

A utilização das duas técnicas contribuiu neste estudo quanto à obtenção de informações do meio físico de forma rápida e precisa, tornando as visitas a campo mais objetivas.

Tanto na ortofoto como na imagem Ikonos foi possível obter dimensões precisas do tamanho da área de degradação observada, bem como da sua localização. No entanto, a imagem Ikonos permitiu obter melhores detalhes em função da sua resolução (1 metro).

Quanto aos custos, a imagem Ikonos (PSM, 1m) Geo Ortho Kit, correspondeu a 60% do investimento feito para o processo de geração da ortofoto, considerando-se somente a compra do scanner de alta resolução e do conjunto de fotografias aéreas. O software (Envi 4.1), o computador e os pontos de controle utilizados no processo de ortorretificação, tanto da imagem de satélite quanto das fotografias aéreas, foram os mesmos.

Além disso, as imagens Ikonos podem ser obtidas com maior facilidade e com menor periodicidade, o que é extremamente importante no acompanhamento da evolução das degradações ambientais.

### **8.1.2. Análise das degradações ambientais**

A análise das degradações ambientais levou em consideração dois fatores principais: características do meio físico (fragilidade natural, relevo, água, solo) e ação antrópica.

Neste estudo foi possível observar que em determinadas degradações, o meio físico foi o fator condicionante, como no caso do assoreamento observado nas margens do Córrego Água Quente, próximo à cabeceira. Nesta região tem-se a presença do material Residual do Botucatu e declividades médias (5 a 10%). Este material tem alta susceptibilidade às erosões e conseqüentemente, em função do desmatamento da área, ocorreram vários problemas de erosão e assoreamento. A mata ciliar nesta drenagem, observada nas fotos mais antigas, do ano de 1962, não se apresentou muito densa em determinados trechos, desde essa época, sendo a vegetação arbustiva a mais encontrada, com raízes que alcançam menores profundidades. Isto leva a crer que o assoreamento verificado é influenciado pelas características naturais, porém foi agravado pela ocupação inadequada que ocorreu nos anos seguintes.

Isto fica claro em outros locais onde ocorreram processos erosivos muito mais intensos (Bairro Cidade Aracy), onde a fragilidade do meio físico associada à ocupação intensa e de forma inadequada foram os fatores indutores. A presença dos materiais arenosos em áreas de alta declividade e alterados pela ação antrópica formam um conjunto de fatores favoráveis à ocorrência de processos erosivos, demonstrando que estas áreas deveriam ter sido ocupadas com critérios rigorosos de proteção contra a erosão. Este aspecto serve de alerta para que nas demais áreas de ocorrência da Formação Botucatu, nas bacias dos Córregos Água Quente e Água Fria, ainda não urbanizadas, sejam tomadas medidas preventivas para evitar o aparecimento de novos problemas ou o agravamento dos já existentes.

Quanto às áreas de mineração abandonadas presentes na cidade, estas são consideradas áreas de risco para a população local e causam danos ao meio físico pela exposição dos materiais às intempéries.

A solução de aterro das áreas de mineração abandonadas, com resíduos inertes, torna-se atraente, pois ao mesmo tempo em que recompõe a topografia, eliminando as

cavas profundas, também dá destinação a resíduos que ocupam extensas áreas quando não são lançados em qualquer terreno abandonado. No entanto, não há oferta de resíduos inertes suficiente para solucionar o problema das cavas em áreas de planície de inundação. Outra solução é a manutenção dos lagos, que podem servir para amortecer as cheias. Mas, com certeza, as soluções devem ser discutidas pelos órgãos ambientais, bem como a eficiência das soluções alternativas que estão sendo propostas atualmente.

Já as áreas de mineração ativas podem vir a ser consideradas de risco, devido ao encerramento das atividades e abandono do local. O plano de recuperação da área degradada (PRAD), que não seja apenas o isolamento do local para recuperação da vegetação, é necessário em função de que o meio físico alterado deve ser utilizado para outra finalidade, caso contrário, ficará sujeito à ação de intempéries que poderão provocar outros danos, como por exemplo, erosões.

O desmatamento de áreas de nascentes foi intenso na cidade, ocasionando vários problemas, tais como: erosões, assoreamentos, inundações, entre outros. Particularmente crítico, considera-se as áreas de cabeceiras de drenagem do Rio Monjolinho e do Córrego do Gregório, pois são áreas ainda com ocupação predominantemente rural, mas aonde a pressão da ocupação urbana vem se ampliando rapidamente. Além da proteção das nascentes, que é regulamentada por lei, o poder público deveria instituir leis de parcelamento do solo urbano nesta região que privilegiassem a infiltração das águas pluviais. A região é área de ocorrência de materiais arenosos com alta capacidade de infiltração, o que poderia reduzir os sérios problemas de inundações que a cidade vem sofrendo nas regiões centrais. Se estas áreas forem ocupadas sem estes cuidados, as obras contra enchentes, recentemente realizadas na região central, perderão o efeito rapidamente e os problemas serão agravados.

Neste trabalho, pode-se observar que os processos erosivos mais graves ocorreram sobre os materiais residuais da Formação Botucatu e sobre os materiais transportados Arenoso I, na região oeste da cidade. Apesar das características favoráveis à erosão apresentadas por estes materiais, os processos foram acelerados pelo desmatamento e ocupações inadequadas.

### 8.1.2.1. Análise das degradações ambientais por micro-bacia

A fim de tornar a análise das degradações ambientais melhor situada dentro da área de estudo, optou-se por dividir a Bacia do Rio Monjolinho em micro-bacias, conforme foi apresentado anteriormente.

A ocupação urbana verificada na área da Bacia do Rio Monjolinho estudada corresponde a 25% e está representada na Figura 8.8, através do percentual de ocupação em cada micro-bacia.

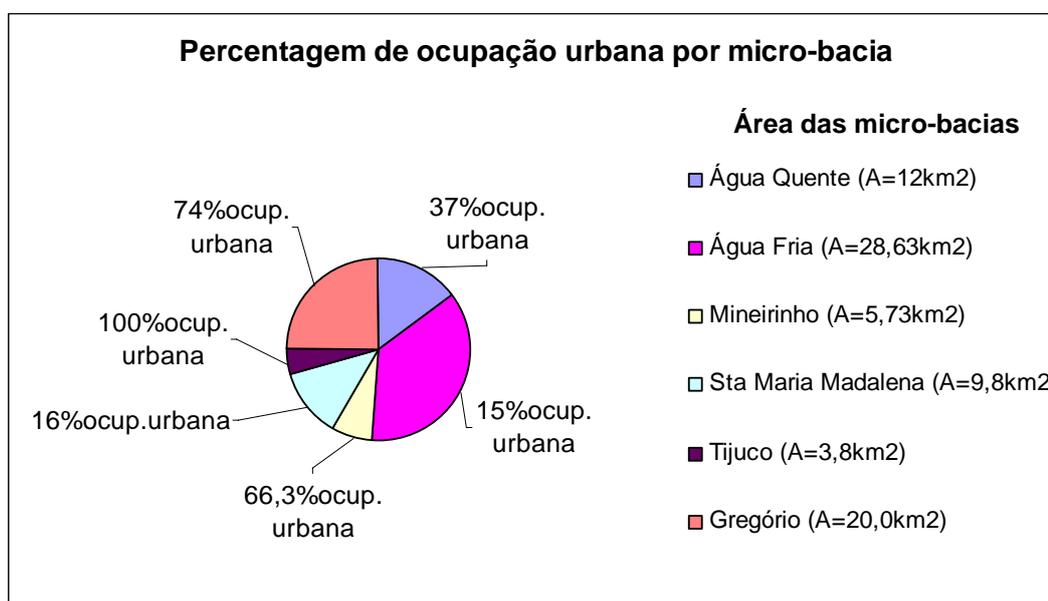


Figura 8.8: Percentagens de ocupação urbana nas micro-bacias da Bacia do Rio Monjolinho.

Pode-se observar que a micro-bacia do Córrego Gregório apresenta a maior área ocupada dentro da Bacia do Rio Monjolinho e, conseqüentemente, a ausência total de mata ciliar e alguns pontos onde ocorrem assoreamentos. Em função da presença dos materiais residuais dos Magmatitos Básicos, os danos causados pela retirada da mata ciliar referem-se aos problemas de inundações devido à alta declividade e o aumento do escoamento superficial.

A micro-bacia do Córrego Água Quente é a segunda maior área de ocupação urbana dentro da Bacia do Rio Monjolinho, apresentando os danos mais graves ao meio físico (boçorocas e assoreamento), devido à fragilidade dos materiais residuais do Botucatu que ocorrem nesta micro-bacia.

As degradações observadas na micro-bacia do Córrego Água Fria referem-se à retirada de mata ciliar, assoreamento e mineração ativa. Apesar da baixa percentagem

de ocupação urbana (15%) em relação ao tamanho da micro-bacia (28,63 km<sup>2</sup>), nota-se que a ação antrópica é o fator indutor de tais degradações e as mesmas tendem a aumentar, caso as ocupações continuem ocorrendo sem considerar as fragilidades do meio físico. Entre estas fragilidades, encontra-se a área de recarga do Aquífero Botucatu.

A micro-bacia do Córrego Tijuco Preto está totalmente urbanizada, teve toda a mata ciliar removida e o canal de drenagem retificado e, em alguns pontos, revestido de concreto. Tais alterações provocaram o aumento da velocidade do fluxo d'água, principalmente em época de chuvas intensas, o que faz com que a foz do Córrego Tijuco Preto (no Rio Monjolinho) acumule grande volume de água em um curto período de tempo.

Na micro-bacia do Córrego Mineirinho ocorre, em maior parte, o material transportado Arenoso III, declividades médias (5 a 10%) e ausência da mata ciliar ao longo de toda a drenagem, incluindo a cabeceira. Apesar da degradação observada, o escoamento superficial não seria alterado, devido à alta permeabilidade do material Arenoso III. No entanto, a impermeabilização do solo ocorrida pela instalação de loteamentos de alto padrão, shopping center e vias de tráfego provocaram o aumento do escoamento superficial, o que levou à formação de ponto crítico na foz do Córrego Mineirinho (no Rio Monjolinho) em época de chuvas intensas.

A micro-bacia do Córrego Santa Maria Madalena apresenta a menor percentagem de ocupação urbana dentro da Bacia do Rio Monjolinho, tendo como principal uso a atividade rural. Apesar disso, observou-se a degradação pela retirada de mata ciliar, incluindo a região de cabeceira. Associado a esta degradação, os danos observados referem-se ao risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela ausência de vegetação. Também se tem o risco de formação de processos erosivos devido à alta declividade no fundo de vale e à presença do material Arenoso III, pelo lançamento das águas pluviais com alta velocidade no curso d'água.

Na área de estudo também foi incluída a micro-bacia do Córrego Monjolinho, à leste, onde verificou-se a retirada da mata ciliar ao longo das drenagens incluindo as áreas de cabeceira, e a atividade de mineração para exploração do arenito da Formação Botucatu. Observou-se a existência de processo erosivo, próximo à nascente da drenagem, onde ocorre o material Residual do Botucatu. A principal causa desta degradação é o desmatamento inadequado associado à alta declividade (>15%) do local e a falta de manejo do solo, em função de ser uma área de uso rural.

Em geral, pode-se dizer que as degradações observadas na área de estudo devem-se à forma como a ocupação urbana ocorreu, isto é, sem considerar as características do meio físico existente na cidade. Isto levou à ocorrência de aumento do escoamento superficial, inundações, formação de processos erosivos, entre outros danos.

Como solução para tais problemas ambientais, seriam necessários investimentos em projetos de correção e minimização das degradações existentes.

No caso de erosões, a elaboração de obras de contenção (dissipadores de energia) dimensionadas de acordo com o escoamento das águas pluviais que ocorrem devido às chuvas mais intensas.

Quanto à mata ciliar retirada, propor o reflorestamento da vegetação nativa e, caso isto não seja possível pela ocupação do entorno (vias de tráfego e residências), manter áreas permeáveis nas cabeceiras das drenagens a fim de reter o maior volume de água possível para que não ocorram inundações no fundo de vale.

As áreas de mineração abandonadas devem ser isoladas e elaborados projetos para o desenvolvimento de outras atividades no local, a fim de que os riscos de danos ao meio físico ou à população do entorno sejam eliminados.

## **8.2. Conclusões**

### **8.2.1. Quanto à metodologia de trabalho**

A metodologia adotada neste trabalho mostrou-se bastante eficiente, pois fez uso de toda informação já disponível na área, agregando novos dados e, principalmente, sistematizando o conhecimento existente em um Sistema de Informações Geográficas associado a um banco de dados. Este procedimento, com certeza, permitirá disponibilizar para a administração pública da cidade e para os órgãos ambientais uma ampla gama de informações, de rápida consulta e que deverá subsidiar os processos de tomada de decisão. Além disso, o levantamento realizado reflete o estado atual das degradações ambientais na área estudada, o que poderá servir de documento para viabilizar futuras comparações e até para a atuação do ministério público. Em complementação, o sistema permite fácil atualização e agregação de novas informações, tendo sido desenvolvido em um SIG de domínio público, ou seja, acessível a todos.

As tecnologias de geoprocessamento baseadas em ortofotos digitais e em imagens de satélite de alta resolução se mostraram totalmente adequadas ao levantamento de áreas de degradação em ambiente urbano, em função da alta resolução espacial e precisão cartográfica que propiciaram. Percebeu-se que as imagens de satélite de alta resolução permitiram maior rapidez e precisão nos levantamentos, além da facilidade de obtenção periódica. Os custos das imagens de satélite foram equivalentes aos das fotos aéreas na escala 1:8.000, no entanto quando considerados os custos dos equipamentos necessários para a geração das ortofotos digitais, o produto final das imagens ortorretificadas é significativamente mais baixo.

Quanto às dificuldades encontradas no decorrer do trabalho, estas se referem ao tempo gasto no aprendizado dos softwares, na obtenção dos pontos de controle no campo e na geração das ortofotos, em função do grande número de fotos na escala 1:8.000 da área de estudo (91 fotos). Outra etapa que levou algum tempo, porém é de grande importância para este estudo, foi a digitalização dos mapas topográficos na escala 1:10.000. As curvas de nível digitalizadas serviram para a geração do MDT e da carta de declividades.

### **8.2.2. Quanto às degradações ambientais**

O estudo das degradações ambientais realizado se propôs a conhecer o meio físico da cidade de São Carlos, realizar o levantamento das áreas degradadas e estudá-las com a finalidade de que os danos causados sejam minimizados.

Neste trabalho verificou-se que as principais causas da degradação ambiental na cidade são as ocupações desordenadas, o desmatamento inadequado e a falta de manejo do solo. Tais problemas confirmam que a relação da cidade com o meio ambiente é conflituosa, pois a implantação dos equipamentos urbanos depende da eliminação ou alteração dos elementos naturais.

Ficou evidenciado neste estudo que a variabilidade do meio físico cria condicionantes que levam à respostas muito diferentes para o mesmo tipo de intervenção. Assim, a ocupação urbana sem a devida consideração do meio físico, tem levado ao agravamento dos problemas de degradação ambiental na cidade de São Carlos. Verificou-se que as áreas de ocorrência da Formação Botucatu e dos materiais arenosos associados são particularmente frágeis e requerem cuidados especiais para a ocupação, tanto para evitar problemas de erosão acelerada (boçorocas) quanto para impedir a contaminação do Aquífero Botucatu, importante fonte de água para a região.

Algumas potencialidades do meio para uso como material de construção também tem causado problemas de degradação ambiental. Isto ocorre nas áreas de afloramento das rochas básicas da Formação Serra Geral (fonte de brita) e nas áreas da Formação Botucatu (fonte de areia). As minerações, principalmente as abandonadas, se constituem atualmente em áreas com sérios problemas e encontram-se sem planos de recuperação.

Ao final deste estudo pode-se concluir que a situação atual do meio físico na cidade de São Carlos merece atenção quanto à correção dos danos causados e à minimização daqueles que ainda podem vir a ocorrer em função da ocupação inadequada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos, SP.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1989. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ALCÂNTARA, M. A.T. de. **Estudo da erodibilidade de alguns solos do Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1997. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AMORIM, D. A. de. **Levantamento de voçorocas e mineradoras da Bacia do Alto Rio Jacaré-Guaçu, propostas para recuperação.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). São Carlos, 1997. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AMORIN, H. R. de. **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da usina hidroelétrica de Caconde (SP), escala: 1:50.000, com uso de geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado) 2v. São Carlos, 2003. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ARCIA, M., MARTINÉZ, A., JORDÁN, M. et al. **Estudio de impacto ambiental para el proyecto de extracción de turba del yacimiento de Cienaga de Zapata, Matanzas, Cuba.** In: Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 1996. 6e. vol.1. Anais... Granada, España. p.195-203.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Degradação do solo: Terminologia (NBR 10.703-1989).**
- ASTM-D 3385-03. **Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer.** American Society for Testing and Materials. 10 Jun 2003. Conshohocken, PA.

- BARROSO, J. A. et al. **Problemas de mapeamento geológico- geotécnico em encostas com favela de alta densidade populacional.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1987. v.2, p.267-278.
- BARROSO, J. A. et al. Diagnóstico ambiental preliminar a partir de mapeamento geológico- geotécnico. Estudo de caso: região oceânica de Niterói. In: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**, 2º e Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, I. Anais... São Carlos, 1996. p.87-93.
- BARROW, C. J. (1991) **Land degradation, development and breakdown of terrestrial environments.** New York: Cambridge University Press.
- BASTOS, G., SOUZA, N. M. Zoneamento geotécnico geral da região de Feira de Santana- BA. In: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**, 2º e Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, I, 1996. Anais... São Carlos. p.25-35.
- BAUER, A. M. Mineração planejada e reabilitação de áreas. In: VALVERDE, F. M.; KIYOTANI, M.A.; AKINAGA, R. M. (orgs.) **Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas.** 1989. Anais... São Paulo. p.51-54.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 2. Ed. São Paulo: Ícone, 1990.
- BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo.** Tese (Doutorado em Engenharia Mineral). São Paulo, 1997. Universidade de São Paulo.
- BITAR, O. Y. (coord.) e BRAGA, T. de O. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Geologia. Série meio ambiente, 1995, p.165-179.
- BITAR, O. Y.; AUGUSTO Fº, O.; IWASA, O. Y.; CUNHA, M. A.; FORNASARI Fº, N. Indicadores geológico-geotécnicos na recuperação ambiental de áreas degradadas em regiões urbanas. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de**

- Engenharia**, 7, Poços de Caldas, 1993. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, vol.3, p.178.
- BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: **Methods for assessment of soil degradation**. Series: Advances in soil science. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998. p.1-16.
- BONANI, G.; DAMIANI, F.; DI FILIPPO, G.; SILVESTRI, F. **Natural risks and industrial activities**: interactions and mitigation measures in a study case. In: International Symposium on Engineering Geology and the Environment Proceedings, 1997, vol.2. Anais... Athens, Greece. p.1187-1191.
- BORTOLUCCI, A. A. **Caracterização geológico-geotécnica da região urbana de São Carlos – SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1983. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 67p.
- BROLLO, M. J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos**. Aplicação na região metropolitana de Campinas (SP). Tese (Doutorado em Saúde Ambiental). São Paulo, 2001. Universidade de São Paulo.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.
- CABRAL, M. e HURTADO, M. Riesgo de inundacion em el área Sur de La Pampa Arenosa, Província de Buenos Aires. In: **Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano**, 1, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.31-41.
- CABRAL, S. Efeitos da extração mineral em áreas urbanizadas da região metropolitana do Rio de Janeiro. In: VALVERDE, F. M.; KIYOTANI, M.A.; AKINAGA, R. M. (orgs.) **Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas**. 1989. Anais... São Paulo. p.36-39.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). São José dos Campos, 1995. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

- CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling.** In: *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996.
- CARSON, M.A. e KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process.** Cambridge University Press, 1975. 475p.
- CARVALHO, E. T. **Carta geotécnica de Ouro Preto.** São Paulo: ABGE, 1987. 51 p. (Síntese de tese 7).
- CARVALHO, E. T. e PRANDINI, F. L. **Urbanização como solução a aprimorar.** In: *Geologia para Engenharia*, 1998. São Paulo: ABGE.
- CARVALHO, E. T. O risco geológico em Belo Horizonte. In: **Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano**, 1, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.66-77.
- CARVALHO, K. V. S. Microbacia da Lagoa Verde: quadro ambiental atual e propostas de intervenção. In: VALADÃO, R. C. & LANDAU, E. C. (eds.) **Análise integrada do meio ambiente – Lagoa da Prata, MG.** Publicação em CD-ROM, Belo Horizonte, 2003. UFMG/ PMLP.
- 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.** São Carlos, 2000. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DANGERMOND, J. A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems. In: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. **Introductory readings in Geographic Information Systems.** London: Taylor & Francis, 1990. p.30-51.
- DECLARAÇÃO DE ESTOCOLMO. **Declaração da Conferência da ONU no Ambiente Humano.** Estocolmo, 1972.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT).**  
Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento

urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/ IPT, 1989.

DERMENTZOPOULOS, Th. e KATSARIDIS, P. **Engineering geological data management for planning using GIS: a case study from Piraeus, Greece.** In: International Symposium on Engineering Geology and the Environment Proceedings, 1997, vol.2. Anais... Athens, Greece. p.1225-1231.

DI FILIPPO, G., PECCI, M. & SILVESTRI, F. **Study on the environmental restorations of disused quarry in protected area near Rome (Italy).** In: Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 1996, 6ºe., vol.1. Anais... Granada, España. p.265-275.

DIAS, L. E. e GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de Áreas Degradadas.** Viçosa, 1998. p. 1-8.

DIAS, R. D. et al. **Mapeamento geotécnico da região metropolitana de Porto Alegre.** In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2º e Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, I, 1996. Anais... São Carlos. p.53-65.

DISPERATI, A. A. Fotografias aéreas de pequeno formato para recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V.de. **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de áreas Degradadas, 1998. 251p.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: **Assessing soil quality.** Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 1996. Special Publication Number 49. p.25-38.

ENVI. **Guia do Envi 4.0.** Disponível em: <http://www.envi.com.br/guia/d/index2.html>. Consultada em 11/11/2003.

ENVI. **Guia do Envi em Português.** Sulsoft. Arquivo digital. 09/2004.

ESWARAN, H.; LAL, R.; REICH, P. F. **Land degradation: an overview.** Disponível em: <http://www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/papers/land-degradation-overview.html> . Consultada em 30/10/2003.

FATORGIS. Definições técnicas. **Fator GIS** (periódico on-line). 2p. Disponível em <[http://fatorgis.com.br/geoprocidefine\\_tecn.htm](http://fatorgis.com.br/geoprocidefine_tecn.htm)>. 1998

- FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4.ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 468p.
- FONTES, S. B. **Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto-MG**. Escala 1:5.000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1999. EESC-USP.
- FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume – FAPESP, 2000. 296p.
- FREIRIA, N. T. & GARCIA, C. M. Avaliação da qualidade ambiental urbana através de indicadores: caso especial cidade de Pinhais – PR. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**, 2002. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI.
- FURQUIM, M. P. O. de. e SALLEM F<sup>o</sup>, S. **Ortofotocartas digitais e geoprocessamento em rodovias**. Disponível em: <http://www.esteio.com.br>. Consultada em 25/09/2002.
- GALVÃO, T. C. de B. **Geotecnia ambiental aplicada ao controle de áreas degradadas**. Disponível em: <http://www.cemac-ufla.com.br/trabalhospdf/Palestras/palestra%20terezinha.pdf> . Consultada em 03/11/2003.
- GASPAR, W. J. **Análise do processo erosivo do loteamento social Antenor Garcia**. Proposta para expansão do bairro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). São Carlos, 2000. Universidade Federal de São Carlos.
- GEOBRASIL. **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. SANTOS, T. C. C. e CÂMARA, J. B. D. (orgs.). Brasília: Edições IBAMA, 2002.
- GLOSSÁRIO DE TERMOS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**. Disponível em: [http://www.forumclimabr.org.br/glossario/glossario\\_m.asp](http://www.forumclimabr.org.br/glossario/glossario_m.asp) . Consultada em 28/10/2003.
- GONÇALVES, A. R. L. **Geologia ambiental da área de São Carlos**. Tese (Doutorado em Geociências). São Paulo, 1986. Universidade de São Paulo.
- GONÇALVES, F. M. **O desenho da paisagem: a relação entre os padrões de urbanização e o suporte físico**. Tese (Doutorado). São Paulo, 1998. FAUUSP.

- GOURNELLOS, T., VASSILOPOULOS, A. & EVELPIDOU, N. **Development of a GIS-based methodology to analyze geological, geomorphological and environmental data of the island of Zakynthos**. In: International Symposium on Engineering Geology and the Environment Proceedings, 1997, vol.2. Anais... Athens, Greece. p.1245-1251.
- GRAY D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization**. A practical guide for erosion control. Wiley, New York, 1996. 377p.
- GRODECKI, J. e DIAL, G. Ajustamento de bloco das imagens de satélite de alta resolução descritas por Polinomiais Racionais. In: **Engenharia de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**, 2005, 69(1):59-68.
- HANSER, A. F. **Geoinformação: ferramenta para a aplicação do estatuto da cidade**. Disponível em: [http://www.mundogeo.com.br/artigos.asp?id\\_artigo={73747117-E855-49C1-BF23-D29FD8FO3465}](http://www.mundogeo.com.br/artigos.asp?id_artigo={73747117-E855-49C1-BF23-D29FD8FO3465}). Consultado em 02/10/2002.
- HASENACK, H.; RODRIGUEZ, M. T. R.; WEBER, E. Carvão e Meio Ambiente: o SIG como catalisador em projeto interdisciplinar e interinstitucional. In: **Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina**, 6, 2000. Anais... Salvador/BA.
- HOOSBEEK, M. R., STEIN, A., BRYANT, R. B. **Mapping soil degradation**. In: Methods for assessment of soil degradation. Series: Advances in soil science. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998. p.407- 422.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília, IBAMA, 1990. 96p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2000. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Web Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.htm. Consultado em 02/11/2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual de Noções Básicas de Cartografia**. Disponível em:

[http://www.ibge.gov.br/home/geografia/decar/manual\\_nocoas/representacao.htm](http://www.ibge.gov.br/home/geografia/decar/manual_nocoas/representacao.htm)

1. Consultada em 04/11/2003.

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE.** Manual Spring. São José dos Campos. Departamento de Processamento de Imagens. <http://www.dip.inpe.br/spring/usuario/indice.htm>. Consultado em 06/2003.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In TEIXEIRA, W. et. al. (org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 7. p.115-138.

KOBIYAMA, M.; FRUET, D.; BUENO Jr., J.; SANTOS, I. dos. Erosividade na região oriental do Estado do Paraná. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.

LAL, R. () **Soil Erosion in the Tropics: Principles and management**. McGraw-Hill, Inc., 1990. 580p.

LAL, R. **Soil degradation by erosion**. Land degradation & development. Nº 12., 2001. p.519-539.

LEITE, M. G. P.; BACELLAR, L. de A. P.; CASTRO, P. de T.; MURTA, C. R. Análise ambiental da microbacia do córrego Quilombas, Vale do Jequitinhonha, semi-árido mineiro. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, 2002, UNIVALI.

LIPORACI, S. R. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicados na cidade e parte do município de Poços de Caldas – MG, escala 1:25.000, visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1994. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 214p.

LOLLO, J. A. de. **Uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas-SP**. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, 1996. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LUCHESE, L. A. C. et al. Pastagens: um sistema de produção para a reabilitação de áreas degradadas. In: **Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**, Curitiba, 1992. Anais. Curitiba, UFPR/ FUPEF, 1992. p. 83-92.

- MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária, UFSM, 1990. 21p.
- MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. 2. ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, UFSM; Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1997. 284p.
- MASCARENHAS, G. R. Aspectos ambientais na elaboração do plano de aproveitamento econômico – (P.A.E.). In: **Simpósio EPUSP sobre Controle Ambiental e Segurança em Mineração**. São Paulo: Ed. EPUSP, 1989. p.177-187.
- MEDEIROS, J. S. de e CÂMARA, G. GIS para estudos ambientais. In: CÂMARA, G. et al. **Introdução a ciência da geoinformação** (livro on-line). 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>. Consultado em maio de 2005.
- MENDES, R. M. **Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsídio ao planejamento urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). São Carlos, 2001. Universidade Federal de São Carlos.
- MERMUT, A. R. e ESWARAN, H. Some major developments in soil science since the mid-1960s. In: **Revista Geoderma**, vol. 100, may/2001. p.403-426.
- MINELLA, J. P. G.; KOBİYAMA, M.; FRUET, D. Áreas críticas na bacia no rio Marumbi, litoral paranaense, baseadas nos valores de perda tolerável de solo pela erosão hídrica. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Agenda 21 Brasileira**: bases para a discussão. NOVAES, W. (coord.). MMA/PNUD. Brasília, 2000.
- MORAES SOUZA, C. M.; MONTERO, L. S.; KÜRTEEN, G. N.; LIE, V. Uso de SIG na detecção da áreas de incompatibilidade de uso do solo, com legislação vigente: estudo preliminar da área de expansão urbana de Blumenau (SC). In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.

- MORENO, J. **Análise da organização e dinâmica das condições ambientais e urbanas face a uma nova ordem econômica**: Piracicaba e seu entorno. Tese (Doutorado). São Carlos, 2000. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 233p.
- MOROKAWA, T. Uso e manejo de florestas nativas. In: **Workshop sobre Recuperação de Áreas Degradadas**. Anais. Itaguaí, RJ, 1990. p.35-51.
- MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos - SP** - escala 1:50.000. Dissertação (Mestrado) 2v. São Carlos, 2000. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NALINI Jr., H. A. e CASTRO, P. de T. Estudos geoambientais aplicados aos depósitos minerais: modelos e desafios. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.
- NISHIYAMA, L. **Mapeamento geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado) 2v. São Carlos, 1989. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NISHIYAMA, L. **Erosão do solo**. Seminários Gerais em Geotecnia. São Carlos, 1995. ESC-USP.
- NOVAES, E. S. **Antecedentes**. Ministério das Relações Exteriores. URL: <http://www.mre.gov.br/cdbrazil/itamaraty/web/port/meioamb/agenda21/anteced/index.htm>. Consultada em 17/01/2006.
- OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes**: diagnóstico e propostas. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). São Carlos, 1996, Universidade Federal de São Carlos.
- OLIVEIRA, A. M.dos S. e BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.87.
- OLIVEIRA, A.H. **Metais pesados nos arredores de depósitos de lixo de Belém-PA**. Belém: 1997. Dissertação (Mestrado em Geoquímica). Centro de Geociências – UFPA.

- OLIVEIRA, J. L. S. de. **Desenvolvimento sustentável: um desafio intergeracional.**  
In: Revista Eletrônica de Turismo, ed. 04, vol. 02, nº 01, novembro/ 2003. 17p.  
Disponível em: <http://www.presidentekennedy.br/retur/edicao04/artigo03.pdf>.  
Consultada em 17/-1/2006.
- OLIVEIRA , J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo:** quadrícula de São Carlos. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 118 p. (Boletim Técnico, 98).
- PALMA, J. B. **Avaliação integrada, em diferentes escalas, dos atributos que controlam a dinâmica das águas:** aplicação para análise de risco de contaminação das águas subsuperficiais na região entre São Carlos e Ribeirão Preto. São Carlos, 2004. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 301p.
- PEJON, O. J. **Estudos geológico-geotécnicos da região urbana de Araraquara – SP.**  
2vol. São Carlos, 1987. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 117p.
- PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico de Piracicaba, escala 1:100.000:** estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 2vol. São Carlos, 1992. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 223p.
- PETERSEN, G. W., NIZEYIMANA, E. & EVANS, B. M. **Applications of geographic information systems in soil degradation assessments.** In: Methods for assessment of soil degradation. Series: Advances in soil science. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998. p.377-391.
- POLZ, J. A. e PINHEIRO, A. Metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental.** Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.
- PRANDINI et al. **Carta geológica dos morros de Santos e São Vicente:** condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo: IPT, 1990. 31p. (Série monografia 3 – IPT, Publicação 1153).

PRESERVAÇÃO. **Atividades de impacto ambiental.** Disponível em: <http://www.preservacaolimeira.com.br/atividade/01.htm>. Consultada em 31/10/2003.

QUEIROZ FILHO, A. P. de. **Ortofoto digital para atualização cartográfica em um sistema de informações geográficas.** Dissertação (Mestrado). São Paulo, 1993. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos.** 2ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1969.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados.** Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, 1982. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 162p.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). São Carlos, 1997. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ROSE, C. W. **Modeling erosion by water and wind.** In: Methods for assessment of soil degradation. Series: Advances in soil science. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998. p.57-88.

SANCHES, L. E. Os estudos de impacto ambiental como instrumentos de planejamento em pedreiras. In: VALVERDE, F. M.; KIYOTANI, M.A.; AKINAGA, R. M. (orgs.) **Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas.** Anais... São Paulo, 1989. p.31-35.

SANTOS, C. J. F. Avaliação do Projeto –Piloto de reflorestamento no Morro São José Operário – RJ. In: **Workshop sobre Recuperação de Áreas Degradadas.** Anais. Itaguaí, RJ, 1991. p.108-115.

SANTOS, J. S. M. e VALERIANO, D. de M. Metodologia para detecção de áreas em transgressão a normas do Código Florestal. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental.** Publicação em CD-ROM. Itajaí-SC, 2002.

SATO, S. S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais.** Tese (Doutorado em Engenharia de

Transportes). São Carlos, 2003. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SCHIELTZ, H. M.; STERN, R. **Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control**. Blackwell Science, 1996. 186p.

Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano – SMH DU. **Plano Diretor do Município de São Carlos**. Prefeitura Municipal de São Carlos. São Carlos, 2005.

SEIGNEMARTIM, C. L. e FÚLFARO, V. J. Geologia de áreas urbanas: o exemplo de Ribeirão Preto, SP. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 3, 1981, Itapema (SC). Anais... São Paulo: ABGE, 1981. v.2, p. 389-408.

SILVA, M. das G. S.; SOUZA, M. do R. G. de. Itabira – Vulnerabilidade ambiental: impactos e riscos sócio-ambientais advindos da mineração em área urbana. In: **XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**. Anais. Ouro Preto, MG, 2002.

SIQUEIRA, R. M.; FRANÇOSO, M. T.; SEGANTINE, P. C. L. Estudo sobre a exatidão de bases cartográficas digitais. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Publicação digital. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2004.

SOARES, J. J., SILVA, D. W. DA E LIMA, M. I. S. Current state and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo State, Brazil. In: **Brazilian Journal of Biology**, ago. 2003, vol.63, n°3, p.527-536. ISSN 1519-6984.

SOBREIRA, F. G. e CASTRO, P. de T. A. Crescimento urbano desordenado: riscos geológicos e custo social da ocupação no leque aluvial Cabanas, Mariana-MG. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM. Itajaí-SC, 2002.

STURARO, J. R. **Mapeamento geostatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento (SPT)**. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, 1994. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- TELLES, G. J. B. e BEAUMORD, A. C. Caracterização preliminar das atividades minerárias da bacia do rio Itajaí-Mirim. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Publicação em CD-ROM, Itajaí-SC, UNIVALI, 2002.
- THREETEK SOLUÇÕES EM GEOMÁTICA LTDA. Disponível em: [http://www.threetek.com.br/servicos\\_cartografia\\_portugues.htm](http://www.threetek.com.br/servicos_cartografia_portugues.htm) Consultada em 03/05/2004.
- TRESSOLDI, M. e SATHLER, G. O papel do mapeamento geológico-geotécnico detalhados na definição de maciços complexos: o exemplo da barragem de Tucuruí. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 3, 1981, Itapema (SC). Anais... São Paulo: ABGE,1981, v.1, p. 141-155.
- TOMMASELLI, A. **Ortofoto**: um conceito antigo com novas técnicas de produção. Disponível em: [http://www.mundogeo.com.br/artigos.asp?id\\_artigo={F78F4A27-7CF9-492F-9D4E-69418FE49544}](http://www.mundogeo.com.br/artigos.asp?id_artigo={F78F4A27-7CF9-492F-9D4E-69418FE49544}). Consultado em 02/10/2002.
- TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L.. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2000.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, IIE, 2003. 248p.
- VALCARCEL, R. Problemas de recuperação de áreas degradadas nos Alpes Italianos e Franceses. In: **Workshop sobre Recuperação de Áreas Degradadas**. Anais. Itaguaí, RJ, 1990. p.17-27.
- WADA, M. K. **Solos urbanos degradados**: o caso das erosões urbanas de Bauru-SP. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2000. FAU-USP.
- WEBER, E.; DUARTE, G. F.; FRANK, M.; HOLF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. **Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas**: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí-RS. Disponível em: <http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/sigcai.pdf> . Consultada em 31/10/2003.
- WEGNER, I. R.; WEBER, E.; HASENACK, H. Aplicação de SIG na análise da variação na qualidade das terras em diferentes lotes de um assentamento da reforma agrária. In: **Site do Laboratório de Geoprocessamento do Centro de**

- Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/hulha.pdf> . Acesso em: outubro de 2001.
- WEISSBERG, I. **Aspectos geoquímicos do impacto ambiental da mineração na Amazônia.** Serra dos Carajás, Pará. Dissertação (Mestrado em Geociências). São Paulo, 1989. Universidade de São Paulo. 220p.
- WEISSBERG, I. **Estudo da reabilitação de solos em áreas bauxíticas mineradas em Poços de Caldas (MG):** uma abordagem ambiental e uma contribuição técnica para otimização. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). São Paulo, 1995. Universidade de São Paulo. 130p.
- WEST, L. T. e BOSCH, D. D. **Scaling and extrapolation of soil degradation assessments.** In: Methods for assessment of soil degradation. Series: Advances in soil science. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998. p.359-376.
- WORLD RESOURCES. **A guide to the global environment.** 1996-97-A. Disponível em: <http://www.wri.org/wri/wr-96-97/index.html> . Consultado em 20/11/2001.
- WORLD RESOURCES. **Cities and the environment.** In: A guide to the global environment, chapter 1. 1996-97-B. Disponível em: [http://www.wri.org/wri/wr-96-97/ud\\_txt1.html](http://www.wri.org/wri/wr-96-97/ud_txt1.html) Consultado em 20/11/2001.
- WORLD RESOURCES. (2001) Priorities for action: water and sanitation. In: **A guide to the global environment**, chapter 5: Urban Priorities for Action. 1996-97-C. Disponível em: [http://www.wri.org/wri/wr-96-97/up\\_txt2.html](http://www.wri.org/wri/wr-96-97/up_txt2.html) . Consultado em 20/11/2001.
- WORLDWATCH INSTITUTE. **A atividade humana agrava desastres naturais.** Disponível em: [http://www.wwiuma.org.br/ativ\\_hum\\_desdesnatur.htm](http://www.wwiuma.org.br/ativ_hum_desdesnatur.htm) . Consultada em 30/09/2003.
- YAMANOUTH, G. R. de B. **Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação - Bacia do Córrego do Espriado (São Pedro - SP).** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) São Carlos, 2003. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZEITOUNI, R. **Educação Ambiental.** URL: <http://www.prodiam.sp.gov.br>. Consulta em 25/05/2001.

- ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). São Carlos, 1981. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** 3v. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, 1987. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 673p.
- ZUQUETTE, L. V. Importância dos estudos geológicos geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos. In: **II Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos.** Anais...V.1. Rio de Janeiro, 1991. p.367-377.
- ZUQUETTE, L. V. e GANDOLFI, N. Contribuição à cartografia geotécnica da Grande Cuiabá, MT. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 4, 1984, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABGE, 1984. v.2. p. 109-118.
- ZUQUETTE, L. V. e GANDOLFI, N. Metodologia de mapeamento para áreas municipais. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1987. v.2. p. 303-312.
- ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; SINELLI, O. **Problemas relacionados à recuperação e à ocupação de pedreiras desativadas na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil.** In: III Congresso Ítalo-Brasileiro de Engenharia de Mineração. Anais... Verona, Itália, 1994.