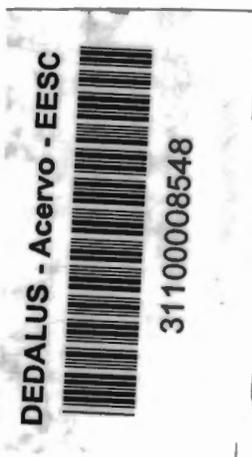


3353688

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

***INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NA QUALIDADE DA ÁGUA: Estudo no Médio Rio
Pardo - SP (período de 1985 a 1997)***



Bióloga: **RACHEL BARDY PRADO**



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

São Carlos

1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	14586
Tombo	040/00

3110000854K

,070697

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

P896i Prado, Rachel Bardy
Influência do uso e ocupação do solo na qualidade
da água : estudo no médio Rio Pardo-SP (período de
1985 a 1997) / Rachel Bardy Prado. -- São Carlos,
1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

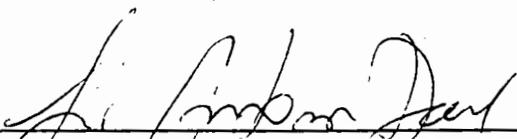
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.

1. SIG. 2. Qualidade da água. 3. Uso do solo.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Licenciada **RACHEL BARDY PRADO**

Dissertação defendida e aprovada em 03-12-1999
pela Comissão Julgadora:



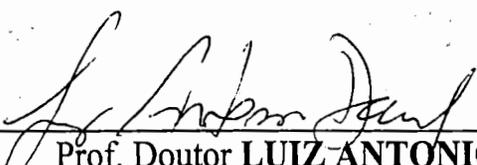
Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



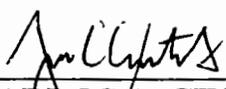
Prof. Doutor **MARCOS CESAR FERREIRA**
(UNESP - Campus de Rio Claro)



Doutor **ANTONIO EDUARDO GIANSANTE**
(SABESP)



Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL**
Coordenador da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC



***“HÁ QUEM PASSE PELA FLORESTA
E SÓ VEJA LENHA PARA A FOGUEIRA”.***

Leon Tolstoi

**Aos meus pais Eudamir e Nilda, pela minha existência
e a toda minha família a quem dedico todas
as conquistas com um profundo carinho.**

AGRADECIMENTOS

Ao professor *Luiz Antonio Daniel* um agradecimento especial pela orientação constante e profissionalismo, bem como pela atenção, paciência e amizade, elementos essenciais na realização deste trabalho.

À *FAPESP* (Processo 1997/13831-3) e ao *CNPq* pelo apoio financeiro e pelo reconhecimento da importância do presente estudo e da pesquisa no Brasil.

A todos os coordenadores do curso, professores que participaram com suas sugestões e funcionários do CHREA, SHS, biblioteca, secretaria de pós-graduação que prestaram serviços para o bom andamento do trabalho.

Aos órgãos fornecedores de dados e seus funcionários: *CETESB* (Amauri), *IBGE*, *INPE* (Milton), *ANEEL*, *IPT* (Lauro) e Escritório de Desenvolvimento Rural de Ribeirão Preto (Sérgio).

À disponibilidade e boa vontade dos amigos *Aurélio*, *Guilherme* e *Victor*, sem esquecer de todos aqueles que passaram pelo Lab-Sig contribuindo de alguma forma para o desenvolvimento do trabalho: *Cerucci*, *Simone*, *Sissy*, *João Moreno*, *Reginaldo*, *Silvia*, *Cláudia*, *Silvana*, *Pattinha*, *Eva*, *Ruth* entre outros.

À compreensão e carinho de meus pais *Eudamir* e *Nilda*; dos meus irmãos *Rúbia*, *Gustavo* e *Guilherme*; dos meus sobrinhos *Fellipe* e *Gabriel*; dos meus avós *Artur*, *Amador* (*in memorian*), *Maria* e *Nina*, do *Mauri*, dos meus tios e primos.

Ao meu amigo de infância *José* dentre outros; à amizade sincera dos amigos *Eduardo*, *Paulino*, *Geni*, *Kátia*, *Silvaninha*, *Pattinha*, *Andréia Medinilha* e *Mônica*; ao carinho das irmãs de casa *Celina*, *Déia*, *Lú* e *Karla*; ao companheirismo do *Fê*; à ajuda do *Cae Mari* e a todas as amigas conquistadas ao longo das disciplinas, do curso e da minha passagem por São Carlos, que entre tristezas e alegrias fazem agora parte da minha história.

Principalmente a *DEUS*, pela energia que emana e nos faz caminhar rumo aos nossos objetivos, mesmo nos momentos difíceis, para que possamos evoluir sempre e talvez um dia alcançarmos a paz.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	i
Lista de Tabelas.....	v
Lista de Símbolos	viii
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
1 – Introdução.....	01
2 – Objetivos.....	04
3 – Revisão Bibliográfica.....	05
3.1 – Qualidade dos Recursos Hídricos.....	05
3.1.1 – Processo de Degradação da Qualidade dos Recursos Hídricos.....	05
3.1.1.1 – <i>Poluição por fontes pontuais</i>	06
3.1.1.2 – <i>Poluição por fontes difusas</i>	08
3.1.2 – Cronologia da Legislação Brasileira Referente aos Recursos Hídricos.....	18
3.1.3 – Controle da Poluição dos Recursos Hídricos.....	22
3.1.4 – Gestão da Qualidade dos Recursos Hídricos.....	24
3.1.5 – Critérios e Padrões Ambientais.....	26
3.1.6 – Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos.....	28
3.1.7 – Sustentabilidade na Utilização dos Recursos Naturais Enfatizando os Recursos Hídricos.....	29
3.2 – Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	31

3.2.1 – Histórico.....	31
3.2.2 – Definição e Caracterização.....	32
3.2.3 – O Sistema IDRIDI for WINDOWS.....	35
3.2.4 – Utilização (Vantagens e Desvantagens).....	36
3.2.5 – Aplicação dos SIG em Projetos Ambientais Utilizando Bacias Hidrográficas como Unidade de Estudo.....	39
3.3 – Sistema de Sensoriamento Remoto.....	40
3.3.1 – Histórico.....	40
3.3.2 – Definição e Caracterização.....	42
3.3.3 – Sistema LANDSAT.....	44
3.3.4 – Utilizações.....	45
3.3.5 – Integração de SIG e Sensoriamento Remoto.....	47
3.4 – Autodepuração dos Cursos D'água.....	48
3.4.1 – Processos de Autodepuração de Águas Superficiais.....	48
3.4.2 – Montagem e Simulação.....	51
3.4.3 – Usos e Limitações dos Modelos.....	52
3.4.4 – Modelos de Qualidade de Água.....	53
4 – Materiais e Métodos.....	57
4.1 – Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	57
4.2 – Coleta e Tratamento dos Dados.....	61
5 – Resultados e Discussão.....	79
5.1 – Qualidade das Águas Superficiais.....	79
5.1.1 – Poluição por Fontes Pontuais.....	79
5.1.1.1 – <i>Dados da população urbana e rural do Médio Pardo referentes á água</i>	81
5.1.1.2 – <i>Indústrias instaladas na região de estudo</i>	87
5.1.2 – Poluição por Fontes Difusas.....	92
5.1.2.1 – <i>Insumos utilizados na agricultura</i>	93

5.1.2.2 – <i>Indústrias sucroalcooleiras e seus resíduos</i>	104
5.1.3 – Parâmetros para Determinação da Qualidade da Água.....	110
5.2 – Macrozoneamento e a Situação do Cômite da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	126
5.3 – Mapas Digitalizados por Meio de Sistema de Informação Geográfica....	128
5.3.1 – Mapa de Hidrografia.....	128
5.3.2 – Mapa de Classes de Declividade.....	130
5.3.3 – Mapa Pedológico.....	132
5.3.4 – Mapa de Suscetibilidade à Erosão.....	137
5.4 – Uso e Ocupação do Solo.....	140
5.4.1 – Imagens de Satélite de 1985 e 1997.....	140
5.4.2 – Expansão Urbana.....	146
5.4.3 – Expansão da Cana-de-Açúcar.....	148
5.4.4 – Redução da Vegetação Natural.....	154
5.5 – Aplicação do Modelo de Autodepuração.....	158
5.5.1 – Mapa das Sub-bacias da Área em Estudo.....	158
5.5.2 – Implantação do Modelo.....	162
5.6 – Determinação de Áreas Críticas que possam estar Contribuindo para Degradação da Qualidade da Água.....	180
5.6.1 – Mapa de Criticidade 1.....	180
5.6.2 – Mapa de Criticidade 2.....	185
5.6.3 – Mapa da Criticidade 3.....	188
5.6.4 – Mapa da Criticidade 4.....	190
6 – Conclusões e Recomendações.....	193
7 – Referências Bibliográficas.....	197

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Representação do formato <i>raster</i> destacando-se os <i>pixels</i>	34
Figura 3.2: Representação da sobreposição de <i>layers</i>	35
Figura 3.3: Representação de imagens de satélite	43
Figura 4.1: Localização da bacia hidrográfica do rio Pardo no Estado de São Paulo.....	59
Figura 4.2: Mapa da área de estudo demonstrando a hidrografia e localização das cidades.....	60
Figura 4.3: Resumo da metodologia.....	61
Figura 4.4: Localização dos pontos de coleta da CETESB no rio Pardo: PD2040 e PD2060 na área em estudo.....	63
Figura 4.5: Vista panorâmica do ponto de monitoramento da CETESB no rio Pardo(PD2040).....	64
Figura 4.6: Vista panorâmica do ponto de monitoramento da CETESB no rio Pardo (PD2060).....	64
Figura 4.7: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 1 (Declividade = Pedologia = Uso e ocupação do solo).....	76
Figura 4.8: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 2 (Declividade = Pedologia = Uso e ocupação do solo).....	77
Figura 4.9: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 3 (Declividade > Pedologia > Uso e ocupação do solo).....	77
Figura 4.10: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 4 (Declividade > Uso e ocupação do solo >Pedologia).....	78
Figura 5.1: Representação dos itens e subitens referentes aos resultados e discussão.....	80
Figura 5.2: Crescimento populacional urbano e rural da região em estudo.....	82

Figura 5.3: Carga de fósforo provinda do lançamento de esgoto da população rural e urbana.....	84
Figura 5.4: Carga de nitrogênio provinda do lançamento de esgoto da população rural e urbana.....	85
Figura 5.5: Representatividade percentual da produção de cana-de-açúcar da região de Ribeirão Preto em relação ao Estado de São Paulo.....	106
Figura 5.6: Representação percentual da área cultivada de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto comparada a do Estado de São Paulo.....	108
Figura 5.7: Mapa de hidrografia da área em estudo.....	129
Figura 5.8: Mapa de classes de declividade da área em estudo.....	131
Figura 5.9: Mapa de pedologia da área em estudo.....	133
Figura 5.10: Mapa de pedologia da quadrícula de Ribeirão Preto na escala 1:100.000	135
Figura 5.11: Mapa de pedologia da quadrícula de Ribeirão Preto na escala 1:500.000.....	136
Figura 5.12: Mapa de suscetibilidade à erosão indicando áreas de solos expostos	139
Figura 5.13: Mapa de uso e ocupação do solo – 1985.....	142
Figura 5.14: Mapa de uso e ocupação do solo – 1997.....	143
Figura 5.15: Mapa síntese da evolução do uso e ocupação do solo de 1985 para 1997.....	145
Figura 5.16: Mapa da expansão urbana de 1985 para 1997 na região em estudo.....	147
Figura 5.17: Mapa da expansão da cana-de-açúcar e queimadas de 1985 para 1997.....	149
Figura 5.18: Expansão da área (km ²) e percentual da cana-de-açúcar de 1985 para 1997.....	150
Figura 5.19: Porcentagem de cana-de-açúcar em relação à área total em estudo.....	150

Figura 5.20: Cultura de cana-de-açúcar circundando Ribeirão Preto.....	151
Figura 5.21: Grandes áreas de cultura de cana-de-açúcar estendendo-se ao horizonte.....	152
Figura 5.22: Rio Pardo apresentando estreita mata ciliar e plantação de cana-de-açúcar às suas margens	152
Figura 5.23: Mapa da distribuição da cana-de-açúcar em relação aos tipos de solos.....	153
Figura 5.24: Percentual de redução da vegetação natural.....	155
Figura 5.25: Mapa de perda de áreas de vegetação natural para cana-de-açúcar e outros usos.....	157
Figura 5.26: Mapa das sub-bacias e trechos do rio Pardo em estudo.....	159
Figura 5.27: Representação dos subtrechos utilizados na aplicação do modelo QUAL2E.....	161
Figura 5.28: Vazão nos subtrechos em janeiro de 1985.....	165
Figura 5.29: Vazão nos subtrechos em julho de 1985.....	166
Figura 5.30: Vazão nos subtrechos em janeiro de 1997.....	166
Figura 5.31: Vazão nos subtrechos em julho de 1997.....	166
Figura 5.32: DBO e OD em janeiro de 1985 - simulação 1.....	167
Figura 5.33: DBO e OD em janeiro de 1985 - simulação 2.....	167
Figura 5.34: DBO e OD em julho de 1985 - simulação 1.....	168
Figura 5.35: DBO e OD em julho de 1985 - simulação 2.....	168
Figura 5.36: DBO e OD em janeiro de 1997 - simulação 1.....	168
Figura 5.37: DBO e OD em janeiro de 1997 - simulação 2.....	169
Figura 5.38: DBO e OD em julho de 1997 - simulação 1.....	169
Figura 5.39: DBO e OD em julho de 1997 - simulação 2.....	169

Figura 5.40: Nitrogênio em janeiro de 1985 - simulação 1.....	170
Figura 5.41: Nitrogênio em janeiro de 1985 - simulação 2.....	170
Figura 5.42: Nitrogênio em julho de 1985 - simulação 1.....	170
Figura 5.43: Nitrogênio em julho de 1985 - simulação 2.....	171
Figura 5.44: Nitrogênio em janeiro de 1997 - simulação 1.....	171
Figura 5.45: Nitrogênio em janeiro de 1997 - simulação 2.....	171
Figura 5.46: Nitrogênio em julho de 1997 - simulação 1.....	172
Figura 5.47: Nitrogênio em julho de 1997 - simulação 2.....	172
Figura 5.48: Fósforo em janeiro de 1985 - simulação 1	173
Figura 5.49: Fósforo em janeiro de 1985 - simulação 2	173
Figura 5.50: Fósforo em julho de 1985 - simulação 1	173
Figura 5.51: Fósforo em julho de 1985 - simulação 2... ..	174
Figura 5.52: Fósforo em janeiro de 1997 - simulação 1.....	174
Figura 5.53: Fósforo em janeiro de 1997 - simulação 2... ..	174
Figura 5.54: Fósforo em julho de 1997 - simulação 1... ..	175
Figura 5.55: Fósforo em julho de 1997 - simulação 2... ..	175
Figura 5.56: Mapa de criticidade 1 (Declividade = Pedologia = Uso e ocupação do solo).....	183
Figura 5.57: Mapa de criticidade 2 (Declividade = Pedologia = Uso e ocupação do solo).....	187
Figura 5.58: Mapa de criticidade 3 (Declividade > Pedologia > Uso e ocupação do solo).....	189
Figura 5.59: Mapa de criticidade 4 (Declividade > Uso e ocupação do solo > Pedologia).....	192

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Carga poluidora orgânica – bacia do rio Pardo – SP.....	81
Tabela 5.2: População urbana e rural dos municípios localizados na área de estudo.....	82
Tabela 5.3: Carga anual de fósforo e nitrogênio estimada com base nos dados censitários do IBGE.....	84
Tabela 5.4: Cargas poluidoras provenientes de esgotos sanitários dos municípios da bacia do Médio Pardo – 1994.....	86
Tabela 5.5: Resíduos sólidos – Médio Pardo – 1994.....	86
Tabela 5.6: Sistema de captação de água – Médio Pardo – 1992.....	87
Tabela 5.7: Principais consumidores industriais de água – rio Pardo.....	88
Tabela 5.8: Principais indústrias poluidoras – Médio Pardo – 1992/1994.....	89
Tabela 5.9: Industrialização na região geoconômica do Médio Pardo.....	91
Tabela 5.10: Resíduos sólidos industriais – Médio Pardo – 1994.....	92
Tabela 5.11: Indústrias que produzem resíduos sólidos perigosos – Médio Pardo.....	92
Tabela 5.12: Composição química média da torta úmida (95% de umidade)...	94
Tabela 5.13: Estimativa de exportação de fósforo (EP) e nitrogênio (EN) em $\text{mg. m}^{-2}. \text{ano}^{-1}$	96
Tabela 5.14: Principais herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar...	100
Tabela 5.15: Persistência, degradação e deslocamento dos principais herbicidas no ambiente.....	101
Tabela 5.16: Dosagens de herbicidas para aplicação na cana-de-açúcar.....	102

Tabela 5.17: Intensidade de uso de herbicidas (kg/ha) com maior potencial de lixiviação, na microbacia do Córrego do Espreado, Ribeirão Preto – SP.....	103
Tabela 5.18: Número e produção das usinas e destilarias por DIRA – Estado de São Paulo – 1991.....	105
Tabela 5.19: Evolução e participação percentual da produção de cana-de-açúcar de Ribeirão Preto em relação ao Estado de SP.....	107
Tabela 5.20: Área cultivada de cana-de-açúcar – Ribeirão Preto – 1991.....	108
Tabela 5.21: Carga orgânica industrial (açúcar e álcool) na bacia do Médio Pardo (kg DBO/ano) - 1992.....	109
Tabela 5.22: Cargas poluidoras de origem industrial (açúcar e álcool) na bacia do Médio Pardo – 1994.....	109
Tabela 5.23: Coliformes totais – (NMP/100mL).....	117
Tabela 5.24: Coliformes fecais – (NMP/100mL).....	118
Tabela 5.25: Fósforo total – (mg/L).....	119
Tabela 5.26: Carga de fósforo total – (kg/s).....	120
Tabela 5.27: Nitrogênio total – (mg/L).....	121
Tabela 5.28: Carga de nitrogênio total – (kg/s).....	122
Tabela 5.29: Demanda Bioquímica de Oxigênio – (mg/L).....	123
Tabela 5.30: Carga referente à Demanda Bioquímica de Oxigênio – (kg/s)....	124
Tabela 5.31: Oxigênio Dissolvido – (mg/L).....	125
Tabela 5.32: Áreas das classes de declividade.....	130
Tabela 5.33: Áreas de tipos de solos.....	132
Tabela 5.34: Comparação das áreas dos tipos de solos em escala 1:100.000 e 1:500.000.....	134
Tabela 5.35: Classes de suscetibilidade à erosão.....	140

Tabela 5.36: Comparação das áreas dos usos do solo de 1985 e 1997.....	141
Tabela 5.37: Evolução da supressão da cobertura vegetal no Estado de São Paulo – 1973/1989.....	154
Tabela 5.38: Vegetação nativa – compartimentos econômico-ecológicos na região do Médio Pardo.....	155
Tabela 5.39: Representação numérica das sub-bacias e subtrechos da área em estudo.....	160
Tabela 5.40: Valores e coeficientes utilizados nas simulações (1985).....	163
Tabela 5.41: Valores e coeficientes utilizados nas simulações (1997).....	164
Tabela 5.42: Valores de vazões médias mensais no Ponto 2040, vazões nos trechos e vazão de esgoto de Ribeirão Preto para os meses de janeiro e julho de 1985 e 1997 (m ³ /s).....	165
Tabela 5.43: Comparação dos resultados do modelo Qual2E com os dados obtidos pela CETESB no final do trecho em estudo, em relação a concentração (mg/L) de nitrogênio total.....	178
Tabela 5.44: Comparação dos resultados do modelo Qual2E com os dados obtidos pela CETESB no final do trecho em estudo, em relação a concentração (mg/L) e carga (kg/dia) de fósforo total.....	179
Tabela 5.45: Matriz representativa da criticidade das áreas em relação a degradação da qualidade da água, relacionando-se a declividade, pedologia e uso e ocupação do solo.....	182
Tabela 5.46: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 1.....	184
Tabela 5.47: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 2.....	186
Tabela 5.48: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 3.....	188
Tabela 5.49: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 4.....	190

LISTA DE SÍMBOLOS

- AM → Automated Mapping
- ANEEL → Agência Nacional de Energia Elétrica
- CAD → Computer Aided Design
- CAM → Computer Assisted Mapping
- CBH → Comitês de Bacias Hidrográficas
- CEEIBH → Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas
- CETESB → Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico
- CICPAA → Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental
- CNRH → Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CONAMA → Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPRN → Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais
- DAEE → Departamento de Água e Energia Elétrica
- DBO → Demanda Bioquímica de Oxigênio
- ECOFORÇA → Instituição não governamental, sem fins lucrativos, de pesquisa e divulgação de conhecimentos técnico-científicos e logísticos operacionais nas áreas de ecologia operacional, monitoramento do uso das terras, avaliação de impactos ambientais e ordenamento territorial
- EDR → Escritório de Desenvolvimento Rural
- EMBRAPA → Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
- EPA → Environmental Protection Agency - USA
- ERTS-1 → Earth Resources Technology Satellite
- FEHIDRO → Fundo Estadual de Recursos Hídricos
- FESB → Fundo Estadual de Controle de Poluição das Águas
- FM → Facility Management
- GPS → Global Positioning System

- HI → Solos Hidromórficos
- IAC → Instituto Agronômico de Campinas
- IBGE → Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE → Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPT → Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- IQA → Índice de Qualidade de Água
- LANDSAT → Series of earth remote sensing satellites
- Lre → Latossolo roxo eutrófico
- Lva → Latossolo vermelho amarelo
- MDT → Modelo Digital de Terreno
- mE → Meridiano Leste
- mN → Meridiano Norte
- NASA → National Aeronautics and Space Administration
- NKT → Nitrogênio Orgânico Total
- NMP → Número Mais Provável
- NUCATE → Núcleo de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
- OD → Oxigênio Dissolvido
- OMS → Organização Mundial da Saúde
- PLANALSUCAR → Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar
- PLANASA → Plano Nacional de Saneamento
- PNMA → Política Nacional do Meio Ambiente
- PNRH → Plano Nacional de Recursos Hídricos
- PNUD → Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
- PRÓALCOOL → Programa Nacional do Alcool
- Rio-92 → Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
- RMS → Root Mean Square
- SABESP → Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

- SEADE → Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
- SEMA → Secretaria Especial do Meio Ambiente
- SIG → Sistema ou Sistemas de Informação Geográfica
- SNGRH → Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
- SPOT → System e Probatoire d'Observation de la Terre
- SUSAM → Superintendência de Saneamento Ambiental
- TM → Thematic Mapper
- UGRHI → Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- USEPA → Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América
- UTM → Projeção Universal Transversa de Mercator
- VTI → Valor de Transformação Industrial

RESUMO

PRADO, R. B. (1999). *Metodologia para determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo no Médio Rio Pardo – SP (período de 1985 a 1997)*. São Carlos, 209p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma metodologia para a determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água. A área abrangida pelo estudo compreende um trecho do Médio Rio Pardo (SP) e a análise temporal o período de 1985 a 1997. Inicialmente, obteve-se dados referentes às fontes pontuais (esgotos industriais e domésticos) e difusas (predominantemente agricultura). O Sistema de Informação Geográfica foi utilizado para digitalização, manipulação e sobreposição dos mapas. Imagens de satélite foram empregadas para a atualização de dados relativos ao uso e ocupação do solo. Os mapas temáticos obtidos foram sobrepostos entre si e também às imagens de satélite, resultando em mapas de criticidade relacionados às fontes de poluição do rio. A análise dos dados possibilitou observar que, a expansão urbana na área de estudo influenciou o aumento de contribuições por fontes pontuais e; a expansão da cana-de-açúcar aumentou a aplicação de insumos agrícolas e reduziu de maneira drástica a vegetação natural, inclusive matas ciliares. Os mapas de criticidade gerados, mesmo utilizando critérios diferentes entre si, ressaltam áreas de alta criticidade coincidentes, indicando que estas necessitam de maior atenção. A aplicação do modelo QUAL2E indicou também a contribuição por fontes difusas, confirmando a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. Portanto, evidencia-se a necessidade de planejamento do uso e ocupação do solo para assegurar a utilização dos recursos hídricos com sustentabilidade, permitindo atender sem restrições a necessidade de todos em relação a este recurso.

Palavras chaves: SIG, qualidade de água, parâmetros de qualidade de água, poluição por fontes pontuais e difusas, uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

PRADO, R. B. (1999). Methodology to determination of the influence of the land-use in the water quality: study in the Pardo Middle River – SP (1985-1997). São Carlos, 209p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This study intends to develop a methodology to determine the influence of the land use in the water quality. The study area comprises the middle reach Pardo River (SP) and the temporal analysis in the period of 1985 to 1997. Initially, data of the non point and point sources were obtained in the water agencies. In addition, the Geographic Information System allowed to digitalize, manipulate the data and maps overlay. Satellite images were employed to update the land use situation. The thematic maps obtained and satellite images were overlaid resulting critical areas maps related to the sources river pollution. The data analysis enabled to determine that the urban expansion influenced the rise of the point sources contributions and; the sugar-cane expansion increased the agricultural input application and slashed natural vegetation, inclusive riparian zones. In spite of distinct criterions used to generate the critical areas maps, the more criticals areas were coincidents indicating that they need more attention. The application of the QUAL2E mathematic model indicated the contribution of the diffuse sources, confirming the influence of the land use in the water quality. The links between land and water management are strengthened and it is concluded that the land use planning is very important to assure the sustainable utilization of the water resources viewing all the needs.

Key words: GIS, water quality, water quality parameter, nonpoint and point sources, land use.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional global, a expansão das atividades econômicas e o processo intensivo de urbanização a partir da década de 50 levou o Homem a explorar de forma predatória os recursos naturais, particularmente os recursos hídricos. Esses são limitados e vulneráveis, porém, sofrem sensíveis alterações na sua qualidade e oferta. No Brasil a situação apresentou-se de maneira similar.

Segundo ALVES (1997), reconhecidamente associada ao uso do solo, a qualidade dos recursos hídricos é fortemente influenciada pela dinâmica de ocupação dos entornos dos corpos de água. Sendo um recurso natural de significativa importância para o desenvolvimento econômico, a água apresenta-se como insumo para uma diversidade de processos produtivos e desempenha funções ambientais indispensáveis ao equilíbrio dos ecossistemas em geral.

A deterioração da qualidade das águas superficiais advém principalmente do fato de as mesmas se prestarem como corpos receptores dos poluentes e contaminantes presentes nos efluentes líquidos industriais, domésticos e agrícolas.

No interior do Estado de São Paulo, com o incremento da agroindústria açucareira e a ocupação de extensas áreas pela agricultura, houve um aumento no impacto causado às águas (SALVADOR, 1990), principalmente, devido ao uso de insumos agrícolas. São usados com maior frequência herbicidas e alguns inseticidas, dentre os quais, muitos são altamente tóxicos e persistentes no ambiente, além de conter elementos como nitrogênio e fósforo que atingem os rios por escoamento das chuvas e irrigação, podendo também contaminar solos e lençóis freáticos.

Por outro lado tem-se também os desmatamentos indiscriminados, principalmente das matas ciliares, afetando não somente as encostas mas também as margens dos rios. O escoamento superficial intensificado provoca aporte d'água maior e mais rápido, causando alargamento e

aprofundamento das calhas dos rios. Barrancos e meandros são escavados e destruídos, provocando erosões de grande porte nos fundos dos vales. A longo prazo, a intensificação do escoamento superficial carrega grandes quantidades de solo, que acabam assoreando essas mesmas drenagens.

Os corpos d'água superficiais são dotados de processo natural para assimilação de poluentes, que consiste em uma série de complexos fenômenos físicos, químicos e biológicos, que em conjunto recebem o nome de autodepuração. No entanto, a capacidade de autodepuração de um corpo hídrico superficial é limitada. Ultrapassado o limite, a sua qualidade pode tornar-se incompatível com os usos múltiplos a que se destina.

A Lei nº6.938 de 31/08/1981 (BRASIL, 1981) foi um marco na mudança de conduta do controle ambiental no país, preconizando como instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, dentre outros, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento ambiental, elementos esses, de postura essencialmente preventiva.

O enfoque preventivo do controle ambiental demandou da Engenharia Ambiental o desenvolvimento do instrumental necessário para se prever e avaliar os efeitos sobre o meio ambiente gerados por ações antrópicas, tal como o lançamento de resíduos em corpos hídricos, e o uso de técnicas para o acompanhamento da qualidade ambiental ao longo do tempo e espaço (LIMA, 1997).

O estudo em questão é proposto, entretanto, com o intuito de avaliar o nível de poluição de águas superficiais, mais especificamente em um trecho do rio Pardo, próximo à cidade de Ribeirão Preto. Para tal, tornou-se necessária a obtenção de dados relativos aos despejos pontuais e difusos bem como uso e ocupação do solo e capacidade de autodepuração do rio em estudo.

Como a quantidade de dados obtidos é bastante significativa, optou-se pelo uso de Sistema de Informação Geográfica (*software* IDRISI), um instrumento capaz de armazenar grande volume de informações podendo

ser gerenciadas e melhor utilizadas em estudos relacionados a variáveis espaciais.

Devido a grande utilização do SIG em trabalhos relacionados ao meio ambiente, já existem tecnologias que o associam ao sensoriamento remoto. Muitos destes trabalhos utilizam as imagens de satélite sobrepostas a outras cartas digitalizadas e editadas pelo SIG como no trabalho em questão, o que tem demonstrado bastante eficiência.

Utilizando instrumentos importantes como parâmetros de qualidade de água, SIG, imagens de satélite e ainda um modelo matemático para demonstrar contribuição por fontes difusas, no trecho em estudo, pode-se concluir a respeito da influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água .

A diversidade da distribuição espacial e temporal da quantidade de água, bem como a degradação de sua qualidade em decorrência da urbanização acelerada e de processos industriais e agrícolas ainda sem os cuidados ambientais necessários, são fatores determinantes para que o gerenciamento integrado dos recursos hídricos seja essencial ao desenvolvimento sustentável do país, podendo assim promover a saúde e bem-estar humanos.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Traçar um perfil evolutivo da degradação da qualidade da água do rio Pardo, no trecho próximo à cidade de Ribeirão Preto, nos anos de 1985 a 1997, considerando-se as fontes de poluição pontuais e difusas, para servir de subsídio para estudos que proponham melhor uso da água e do solo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

⇒ Avaliar a contribuição de carga poluidora por fontes difusas considerando-se o tipo, uso e ocupação do solo.

⇒ Elaborar cenários indicando as áreas críticas de contribuição para poluição do trecho do rio Pardo em estudo, integrando o uso de Sistema de Informação Geográfica e sensoriamento remoto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

3.1.1 Processo de Degradação da Qualidade dos Recursos Hídricos

A água constitui elemento indispensável às atividades desenvolvidas pelo homem, tais como: abastecimento doméstico e industrial, produção de energia, irrigação, pesca, aquacultura, navegação, recreação, limpeza de ruas, dentre outros usos múltiplos.

Essas diversas utilizações que o homem faz da água resulta em resíduos líquidos, os quais voltam novamente aos recursos hídricos, causando a sua poluição.

A partir de meados deste século, devido ao elevado crescimento populacional e industrial, urbanização desenfreada e uso inadequado do solo, a quantidade de resíduos que atingem os rios apresentou aumento significativo, resultando dessa forma, na degradação da qualidade da água.

A concepção que se tinha era de que a poluição se manifestava pela alteração de cor, sabor e odor das águas. Entretanto, o Decreto federal nº 50.877 de 1961 define-a como: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas das águas, que possa importar em prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e ainda comprometer a sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e, principalmente, à existência normal da fauna aquática”. A poluição exerce um efeito deletério sobre grande parte dos organismos que vivem na água. Certamente, o número de espécies capazes de viver bem nas condições de poluição é muito menor do que o número que poderia viver em condições normais.

De acordo com BRANCO (1983), a poluição das águas origina-se de várias fontes, dentre as quais se destacam o esgoto sanitário, os efluentes industriais, o deflúvio superficial urbano e o deflúvio superficial agrícola, estando portanto associada ao tipo de uso e ocupação do solo.

Quanto às fontes pode-se agrupar a poluição das águas em: poluição por fontes pontuais e poluição por fontes difusas.

3.1.1.1 *Poluição por fontes pontuais*

A poluição por fontes pontuais é caracterizada por lançamentos de esgoto sanitário e efluentes industriais nos cursos d'água, além de outros possíveis lançamentos pontuais de poluentes.

O maior problema causado pelo lançamento nos rios dos esgotos provindos das cidades, sem tratamento prévio, diz respeito ao aumento do consumo de oxigênio no processo de estabilização da matéria orgânica e dos nutrientes, com a conseqüente eutrofização do corpo d'água.

Os esgotos domésticos são ricos em compostos nitrogenados como proteínas, aminoácidos e amônia, principalmente, bem como em gorduras e açúcares (BRANCO, 1986).

O autor supracitado comenta ainda que a poluição resultante do lançamento de despejos orgânicos pode causar, essencialmente, dois tipos de influências químicas nocivas sobre o ambiente e os organismos: primeiro, o efeito direto, tóxico; segundo, a influência indireta, através da criação de condições anaeróbias ou pelo menos, deficiência de oxigênio livre.

Os resíduos constituídos por detergentes não biodegradáveis dentre outros produtos, contêm substâncias que contribuem para o processo de eutrofização. A eutrofização é sinônimo da evolução que consiste em aumentar os sedimentos orgânicos diminuindo a profundidade do rio e tornando-o mais produtivo. Alguns dos principais causadores deste processo são nitrogênio e fósforo. Esse fato propicia o desenvolvimento de algas e diminuição do oxigênio favorecendo o surgimento de bactérias anaeróbias, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável à água.

A eutrofização também pode ser considerada como uma reação em cadeia, de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a queda da estabilidade dos sistemas. Assim, o ecossistema passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor, ocorrendo profundas mudanças no ecossistema (ESTEVES, 1988).

O caráter passivo da poluição é talvez surpreendente. As grandes alterações de natureza ecológica que ocorrem em um rio que recebe esgoto, culminando com a destruição total de seus peixes, são, na maioria das vezes, causadas pela introdução de excesso de alimento que é considerado poluição (BRANCO, 1983).

Os efluentes industriais podem possuir composição bastante variada sendo, predominantemente, de ordem química. As alterações químicas podem modificar o ecossistema de maneira drástica podendo levar à morte seus indivíduos.

A American Chemical Society registrou, nos Estados Unidos em 1979, mais de 4,8 milhões de produtos químicos em uso e cerca de 400 mil novas substâncias sendo introduzidas no mercado por ano. No Brasil, a situação não é muito diferente, principalmente devido ao desenvolvimento industrial e agrícola nas últimas décadas.

A poluição térmica também deve ser considerada, pois grande quantidade de calor é descarregada e se concentra em alguns pontos, produzindo muitas características típicas da poluição, como: mortandade de peixes, odores nocivos, águas turvas, sabores ruins entre outras modificações prejudiciais aos ecossistemas naturais.

Os agentes poluidores, neste caso, são as usinas nucleares, usinas canavieiras, dentre outros. As alterações térmicas podem alterar as características da água como pH, salinidade e tensão superficial.

Como pode-se observar, os problemas causados pela poluição dos recursos hídricos são de diversas ordens, e são o resultado de uma notável expansão das capacidades técnico-produtivas, do crescimento demográfico e do processo de urbanização.

A urbanização é atualmente um fenômeno universal. Com efeito, é difícil indicar uma região do mundo onde não se verifique, em maior ou menor escala uma transformação considerável dos modos de vida e organização provocados pelo crescimento das cidades. Ela alcança proporções mais graves nos países em desenvolvimento segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) em 1985.

3.1.1.2 Poluição por fontes difusas

Prognosticar poluição por fontes difusas ou não pontuais tem sido um desafio para os cientistas de diversas áreas relacionadas com tal problema. Acredita-se que aproximadamente de 30 a 50% dos solos da Terra estejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas (LOAGUE *et al.*, 1998).

A poluição por fontes difusas é um problema multidisciplinar que envolve processos químicos e físicos que ocorrem numa escala espacial e temporal. Atinge grandes áreas, relativamente em pequenas concentrações, mas com conseqüências crônicas ao ambiente e saúde.

A poluição por intermédio de fontes difusas é caracterizada, principalmente, pelos lançamentos de poluentes nos cursos d'água provindos das atividades agrícolas, por meio do escoamento superficial.

Os efeitos do deflúvio superficial agrícola dependem muito das práticas agrícolas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam a preparação do terreno para o plantio, a aplicação de agrotóxicos e a colheita.

CUNHA (1992) analisa o impacto do Homem no setor agrícola, constatando a destruição das vegetações nativas sem o replantio, a contaminação do solo através do uso de agroquímicos e pesticidas e a não rotatividade de culturas. A isto pode-se adicionar o infringimento das leis ambientais, principalmente no tocante às reservas legais e matas ciliares, além da prática de queimadas com relação à cana-de-açúcar.

Devido ao uso intensivo que se faz de agrotóxicos no Brasil, em especial no Estado de São Paulo, e também à escassez de informações

quanto aos seus efeitos nos hidroecossistemas continentais, é de fundamental importância que sejam realizados estudos qualitativos e quantitativos destes produtos nos diferentes compartimentos dos ecossistemas. Isso possibilitaria a comparação dos dados obtidos com padrões estabelecidos para a proteção da biota aquática e a determinação da distribuição desses poluentes nas bacias hidrográficas.

A maior fonte de contaminação ambiental pelos agrotóxicos resulta da aplicação destes compostos químicos para controlar pragas da agricultura, causando problemas à saúde pública. A OMS ressalta ainda que os agrotóxicos causaram em 1985, danos a 500.000 pessoas, matando cerca de 5.000. A maioria dos danos ocorre no terceiro mundo, por falta de informação adequada ou de treinamento, o que leva as pessoas a usarem recipientes contaminados para transporte de água e alimentos (CETESB, 1989).

A contaminação das águas pode ocorrer pela aplicação direta de agrotóxicos em superfícies de córregos e rios, mas, a principal dinâmica de sua distribuição tem sido a partir dos solos contaminados pela aplicação destes agrotóxicos no combate às pragas. Através da irrigação e carreamento pelas águas da chuva, estes compostos químicos chegam, posteriormente, aos córregos, rios, lagos, estuários e, finalmente, oceanos (CETESB, 1989).

Segundo VOUGHT (1994), em muitos países a agricultura já é considerada como a maior fonte de poluição difusa, responsável pela elevação da quantidade de sedimentos transportados e da concentração de nutrientes e pesticidas em rios e lagos.

Como resultado, pode-se observar uma aceleração nos processos de eutrofização dos corpos d'água, levando a um aumento excessivo de macrófitas e a mortandade de peixes, influenciando assim os diversos usos da água e alterando seu aspecto estético, tornando-a imprópria para consumo humano e até mesmo para finalidades recreacionais.

A conversão de áreas ribeirinhas em áreas agrícolas por meio de aragem e a transformação destas regiões em pastagens provoca o

deslocamento do solo, somando-se a este fato o aumento no transporte de poluentes de fontes difusas para os cursos d'água.

Quando se trata de determinar a concentração de nutrientes em um rio, deve-se levar em conta o uso e ocupação do solo, proximidade com o curso do rio e influências sazonais (TUFFORD *et al.*, 1998).

Sendo assim, TUFFORD *et al.* (1998) realizaram um trabalho visando correlacionar os usos do solo, proximidade com o rio e sazonalidade com a deposição de nutrientes nos cursos d'água. Foram escolhidos trechos de agricultura, vegetação natural, solos úmidos e áreas urbanas em diferentes sub-bacias.

Os resultados sugerem que as categorias de uso do solo escolhidas favorecem o aumento de nitrogênio total no rio. Áreas com predominância de uso agrícola foram associadas com aumento de concentração de nitrogênio total e áreas alagadas com a diminuição do mesmo.

Para o fósforo total, áreas com ocupação predominantemente agrícola e áreas urbanas foram associadas com o aumento da concentração, sendo a contribuição da área urbana maior que a agrícola. Vegetação natural e solos alagados foram áreas associadas com a diminuição da concentração.

Os modelos aplicados foram mais eficientes para nitrogênio total que para fósforo total. Isto reflete a provável diferença nos meios de transporte e transformação como também absorção biológica, que é mais eficiente no caso do nitrogênio.

O nitrogênio existe em solução e por este motivo é melhor transportado em superfícies com maior umidade. O escoamento superficial é responsável pelo transporte de grande quantidade de nitrogênio. A remoção deste nitrogênio do escoamento superficial é parcialmente explicada pela absorção pela vegetação, mas o principal mecanismo de remoção é usualmente a desnitrificação, que depende das fontes de nitrato e carbono disponíveis e das condições anaeróbias (VOUGHT *et al.*, 1994). As bactérias anaeróbias utilizam nitrato para a respiração na ausência de oxigênio, convertendo-o principalmente em gás nitrogênio.

O fósforo é transportado adsorvido às partículas do solo, é menos acessível às plantas e condições biogeofísicas e meteorológicas podem influenciar o seu transporte. A remoção de fósforo em sistemas de várzeas ocorre pela adsorção, absorção, complexação e precipitação.

TUFFORD *et al.* (1998) obtiveram ainda que a mudança no uso do solo originalmente coberto por vegetação natural ou alagado para agricultura apresenta aumento significativo de nutrientes no rio quando a proximidade com o mesmo é inferior a 150 metros. Os testes também indicaram que o impacto sazonal no aumento de nutrientes que são transportados até os rios pode variar, dependendo do uso do solo na bacia em estudo.

A agricultura brasileira tem se destacado pelo uso crescente e indiscriminado de insumos, contribuindo sistematicamente para o desequilíbrio dos ecossistemas.

Com a crescente aceleração das atividades agroindustriais, a partir da década de 60, pela utilização intensiva dos recursos naturais, houveram profundas mudanças nas relações econômicas, gerando-se problemas ambientais de toda a ordem. Segundo PAULA JÚNIOR (1995), embora a política agrícola implementada tenha conferido uma espécie de desenvolvimento econômico ao país, em oposição, todo o processo de desenvolvimento não foi acompanhado por políticas de gestão ambiental.

O início do que veio a ser um dos mais importantes setores da economia brasileira foi a criação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) em 1975, determinando subsídios e favorecimentos diferenciados aos produtores dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Nordeste, que em parte ainda vigoram (MELLO, 1997). Para AB'SABER¹ (1994) *apud* MELLO (1997), esta massa de recursos pouco valeu para a sociedade e economia, não conseguindo portanto atingir as pessoas da base de uma pirâmide social desigual.

¹ AB'SABER, A. N. (1994). Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: AB'SABER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (orgs.). *Previsão de Impactos*. Edusp, São Paulo, p.27-49.

De acordo com CETESB (1986), do ponto de vista sócio-econômico, alguns problemas foram agravados pela agroindústria canavieira no Estado de São Paulo, sendo eles: acréscimo da área cultivada, substituição de culturas alimentares, velocidade de expansão da monocultura canavieira, modificação da estrutura fundiária (monopolização) e fortalecimento da figura do trabalhador volante.

A indústria sucroalcooleira constitui uma fonte significativa de poluição, face ao elevado potencial poluidor tanto qualitativo como quantitativo de seus resíduos como, por exemplo, o vinhoto. Este é hoje lançado, principalmente no solo, como fertilizante. Este fato desperta uma preocupação relacionada à qualidade dos recursos hídricos, considerando-se que este lançamento pode atingir os aquíferos subterrâneos por percolação e os cursos d'água superficiais por escoamento sub e superficial.

Conforme cita DEMATTÉ (1993), o uso intensivo do solo na monocultura canavieira devido às práticas agrícolas, tais como; preparo do solo, tratamentos culturais e outros, é utilizada de forma não conservacionista, ocasionando sua erosão. Adicionado a isso, a precipitação pluviométrica no solo desagregado, pelo uso acima descrito, faz com que ocorra o transporte destes nutrientes para os cursos de água. Estes fatores provocam o assoreamento dos rios, modificando seu mecanismo de equilíbrio hidrológico.

Outro problema encontrado é a utilização de máquinas pesadas nas atividades agrícolas causando a compactação do solo. Este fato altera a capacidade de infiltração de água no mesmo, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a zona de absorção das raízes.

A avaliação dos impactos ambientais causados por fontes difusas de poluição em uma escala local, regional e global é de fundamental importância para se atingir uma agricultura consideravelmente sustentável.

Esta avaliação envolve quantificações *in situ* das fontes difusas de poluição e/ou determinação das mudanças nos poluentes ao longo do tempo. Estas mudanças podem ser medidas em tempo real (atual) ou previstas por intermédio de um modelo matemático (OLIVEIRA, 1998).

A avaliação dos efeitos provocados pelas atividades agrícolas no próprio meio (fatores intrínsecos) e no meio externo (fatores extrínsecos) requer a adoção de metodologia que estabeleça uma relação causal entre a ação, potencialmente poluidora, e a degradação efetivamente verificada (GOMES, 1997).

Nesse contexto, o CNPMA (1997) desenvolveu um estudo, adotando-se a microbacia do Córrego Espreado localizada na divisa dos municípios de Ribeirão Preto, Cravinhos e Serrana, atingindo um total de 4.141 hectares inseridos entre as coordenadas 21° 05' e 21°20' de latitude sul e 47°40' e 47°50' de longitude W.Gr.

A importância dessa microbacia reside no fato de possuir áreas de recarga do Aquífero Guarani (antigo Botucatu), as quais são bastante vulneráveis ao risco de contaminação por agroquímicos.

Como a região de Ribeirão Preto é totalmente abastecida com água proveniente do Aquífero Guarani, têm se tornado relevantes os estudos relacionados à qualidade da água dos lençóis subterrâneos e à atividade intensiva de cana-de-açúcar nas chamadas áreas de recarga. O problema adquire importância na medida em que o referido sistema de produção adota elevada entrada de insumos, podendo comprometer todo o ecossistema em um prazo relativamente pequeno.

O uso intensivo de agroquímicos durante o ano todo, em função da colheita e plantio sucessivos de cana-de-açúcar, associados aos cultivos alternados de milho e feijão irrigados, evidenciam condições, excepcionalmente, favoráveis à contaminação do solo e da água. Essa evidência é favorecida pela presença dominante de areia quartzosa, principal ponto de recarga do Aquífero Guarani, que permite, com maior facilidade, a lixiviação de agroquímicos (GOMES, 1997).

Para se desenvolver e aplicar metodologias de avaliação de impacto em sistemas agrícolas é preciso que se conheça bem o comportamento das suas principais variáveis no espaço e no tempo. Dessa forma, torna-se fundamental o conhecimento preliminar dos seguintes fatores e/ou características da área objeto de estudo: morfologia, geologia, hidrologia,

solos, água, microfauna/mesofauna do solo, área de vegetação nativa, plantas cultivadas e dados climáticos.

Uma das soluções para o problema da poluição por fontes difusas seria o estabelecimento de matas ciliares numa largura variando de 5 a 100 metros aproximadamente. Sua vegetação pode incluir árvores, grama e espécies características de várzeas (MUSCUTT *et. al.*, 1993). Essas faixas funcionam como filtros para o retardamento, absorção e purificação do escoamento contendo contaminantes devido a entrada de águas superficiais (XIANG, 1993a,b).

Na Califórnia, resíduos de pesticidas como Bromacil, Diuron e Simazina têm sido detectados nas águas superficiais como originados de fontes não pontuais (TROIANO e GARRETSON, 1998).

FONTES (1997) destaca, em seu trabalho, que foi realizado em uma área pertencente à área do presente estudo, a falta de cobertura vegetal natural em áreas com probabilidades maiores de ocorrência de impactos ambientais. A falta de vegetação natural é regra em toda a região de Ribeirão Preto (área em estudo), conseqüência direta do modelo econômico adotado pelo Brasil, o qual privilegiou as monoculturas extensivas como a cana-de-açúcar, atividades de excelente adaptação aos tributos naturais locais. Portanto, foram eleitas algumas situações onde este cenário de devastação mostra-se crítico, exigindo práticas de conservação e/ou preservação.

Segundo relatório da CETESB (1989), na região de Ribeirão Preto, a maior alteração ocorrida de 1962 a 1984 foi com relação ao aumento de 11.100% da área de fruticultura, havendo incrementos também das áreas de citricultura (1.957%), reflorestamento (544%) e cana-de-açúcar (305%). Perdas consideráveis foram verificadas nas áreas de cerrado (-88%), pastagens (-43%) e vegetação natural (-38%), principalmente para cana-de-açúcar.

A devastação da vegetação nativa, sem nenhum programa de reflorestamento e replantio marca o início da agressão ambiental, infringindo

leis, como a que preserva as matas ciliares e a de conservação do solo, que é explorado sem uma rotatividade de culturas.

Ao atingir o solo, a chuva produz a degradação e o arraste de parte do mesmo, juntamente com o material nele depositado, podendo provocar dois efeitos principais: a erosão hídrica e o assoreamento. A poluição das águas é geralmente consequência da própria erosão, mas pode ocorrer mesmo sem esta, quando por exemplo, substâncias presentes no solo são solubilizadas e atingem os aquíferos subterrâneos através da água de infiltração. Substâncias dissolvidas e/ou suspensas podem ainda ser transportadas para os cursos d'água pelo escoamento superficial, sem que haja um processo erosivo significativo que não seja o natural.

Uma conjunção de vários fatores contribuem para o processo de erosão, como a intensidade e duração da chuva, tipo de solo, cobertura vegetal, topografia, além de outros.

Os fatores ambientais geológicos, pedológicos e geomorfológicos poderão facilitar a poluição do solo por poluentes, de acordo com suas características. A poluição do solo tem como uma de suas consequências a poluição das águas, causando diversos impactos sobre a sua qualidade.

SALVADOR (1990) também menciona alguns fatores responsáveis pelo processo de impactação dos recursos hídricos. São eles o clima, representado principalmente pelo regime pluviométrico, os fatores antrópicos como retirada da vegetação, impactos diretos do solo que indiretamente influenciarão a qualidade da água, assim como a mineração que pode causar impactos diretos sobre as águas.

Há várias maneiras de se verificar a qualidade da água, nível de poluição ou contaminação, provindos tanto de fontes pontuais como difusas. De modo geral utilizam-se os parâmetros de qualidade de água como, por exemplo, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, temperatura, pH, coliformes fecais e totais, cor, turbidez, nitrogênio total, nitrito, nitrato, fósforo total, sólidos suspensos (resíduos não filtráveis), sólidos dissolvidos, substâncias tóxicas ou

conservativas. Existem ainda os indicadores indiretos ou complementares que são os biológicos .

Os parâmetros de qualidade de água estão diretamente ou indiretamente relacionados ao regime de chuvas, uso e ocupação do solo, erosão, declividade, entre outros fatores químicos, físicos e biológicos.

Portanto, pode-se dizer que em épocas de chuvas haverá maior escoamento superficial, levando consigo nutrientes que aumentarão a poluição dos rios. Esse processo se intensificará por contribuição de fatores citados anteriormente.

Um outro aspecto a considerar é a precipitação de alguns nutrientes que chegam aos cursos d'água, sendo utilizados pelo bênton ou ainda sendo utilizados na própria coluna d'água. Também vale ressaltar que os nutrientes são cíclicos, passando por processos de mineralização.

Os principais nutrientes provindos do escoamento superficial são o nitrogênio e o fósforo, lembrando-se de que os mesmos também atingem os rios por fontes pontuais como citado anteriormente.

As águas naturais, em geral, contêm nitratos em solução e, além disso, principalmente tratando-se de águas que recebem esgoto, podem conter quantidades variáveis de compostos mais complexos, ou menos oxidados, tais como, compostos orgânicos quaternários, amônia e nitritos. Em geral, a presença destes denuncia a existência de bactérias nitrificantes. Por essa razão, constituem um importante índice de poluição por despejos orgânicos recentes (BRANCO, 1986).

Segundo ODUM (1988) uma quantidade muito pequena do nitrogênio provindo do uso de fertilizantes é reciclada, a maior parte é perdida na retirada da colheita, na lixiviação e na desnitrificação.

O nitrogênio orgânico transforma-se em inorgânico através da decomposição pela ação de vários tipos de bactérias, cada tipo especializado em realizar parte do processo. Parte desse nitrogênio se transforma em amônia e nitrato, as formas mais utilizadas pelas plantas, e parte entra na atmosfera pelo processo de desnitrificação. Entretanto, o nitrogênio chega a um curso d'água de várias maneiras e terá vários

destinos podendo não ser detectado na forma e quantidade como entrou no sistema. A própria água da chuva traz, em solução, pequenas quantidades de amônia ou de ácido nítrico provenientes de descargas elétricas ou da fumaça de indústrias que poluem a atmosfera.

O fósforo encontrado no solo aparece na sua maioria como fósforo inorgânico, mas também pode ser encontrado na forma orgânica. Este elemento ocorre em poucas formas químicas e é raro comparado ao nitrogênio, sendo que, o mesmo em excesso na água, pode contribuir para o processo de eutrofização como mencionado anteriormente.

Uma fonte de fósforo que pode contribuir para o enriquecimento de um manancial, são certos minerais fosfáticos denominados apatitas e pequenas quantidades de fosfatos inorgânicos do solo, os quais não são, entretanto, facilmente transportados pelas águas de chuvas, dada a avidez que apresentam pelos outros constituintes do próprio solo.

O fósforo, em águas ricas em ferro e em presença de elevado teor de oxigênio, pode precipitar-se sob a forma de fosfato ferroso insolúvel, juntamente com hidróxido férrico que se forma nas mesmas condições (BRANCO, 1986).

A incorporação dos aspectos quantitativos do recurso água ao estudo permite interpretar, com maior profundidade, a situação do sistema, uma vez que variações temporais dos parâmetros qualitativos podem ser consequência tanto da efetiva alteração do aporte de poluentes às coleções hídricas, como de variações de concentração decorrentes de alterações de vazão.

Portanto, percebe-se que o problema da poluição das águas por fontes pontuais e difusas têm sido verificado globalmente e vem crescendo indiscriminadamente. Para que se possa utilizar o solo de maneira sustentável, torna-se necessário o monitoramento e desenvolvimento de técnicas que venham diminuir o lançamento e transporte de nutrientes até os cursos d'água, poupando os mesmos de contaminação e a humanidade de ter que se privar do seu uso.

3.1.2 Cronologia da Legislação Brasileira Referente aos Recursos Hídricos

Ao se estudar os problemas relacionados à degradação da qualidade dos cursos d'água, torna-se importante conhecer os instrumentos legais de proteção dos mesmos.

Dessa forma, para uma melhor compreensão do processo evolutivo da legislação brasileira em relação ao controle de poluição dos recursos hídricos, destacando-se as leis do Estado de São Paulo, optou-se por fazer um breve comentário a respeito da mesma e de acontecimentos marcantes que fizeram parte deste processo evolutivo, porém, considerando-se que esse não é o objetivo do trabalho.

♦ 1934 - Código das Águas → visa a proteção dos recursos hídricos com vistas à saúde pública e a proteção da flora e fauna aquáticas.

♦ 1940 - Código Penal → visa a proteção apenas da água potável.

♦ 1942 - Plano Geral de Obras → controle da poluição do rio Tietê (SP).

Após a Segunda Guerra Mundial e a vinda do capital estrangeiro, implantou-se no Brasil a indústria automobilística e com ela houve uma aceleração do processo de urbanização e exploração dos recursos hídricos.

♦ 1949 - Criação do polo petroquímico de Cubatão (SP) e a conseqüente poluição ambiental, destacando-se a poluição das águas.

♦ 1950 - Reversão do Rio Pinheiros para a Represa Billings (SP) com o objetivo de aumentar a geração de energia elétrica surgindo problemas de poluição que permanecem atualmente.

♦ 1958 - CICIPAA (Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental) → primeiro órgão específico de controle de poluição, trabalhando de forma coordenada e com suporte tecnológico e de recursos humanos adequados, contando com o apoio da Organização Mundial da Saúde. Não alcançou seus objetivos devido à problemas institucionais, políticos e deficiência na aplicação das leis.

♦1960 - preocupação com o uso e ocupação do solo em relação à poluição hídrica. A comissão da Bacia de Guarapiranga (SP) foi um dos projetos pioneiros.

♦1961 - Código Nacional da Saúde, que tratou da matéria de proteção dos recursos hídricos contra poluição em vários artigos.

♦1965 - Código Florestal → visa a proteção dos mananciais e recuperação de matas ciliares.

Em nível estadual, o Decreto N° 45231 de 1965 fixou pela primeira vez padrões de emissão para efluentes líquidos industriais no Estado de São Paulo, restringindo o regime de vazão, temperatura, pH e teor de sólidos sedimentáveis.

♦1967 - Código de Mineração → obriga os titulares das concessões de lavra a evitarem a poluição do ar ou da água, que possa resultar dos trabalhos de mineração. Nesta época as condições sanitárias de muitos rios já estavam críticas.

♦1968 - FESB (Fundo Estadual de Saneamento Básico) → órgão precursor da CETESB (SP).

♦1969 - Plano Estadual de Controle de Poluição das Águas → primeiro instrumento de planejamento objetivo com a finalidade de estabelecer diretrizes e prioridades para a recuperação dos recursos de água.

♦1970 - SUSAM - Superintendência de Saneamento Ambiental.

Nesta mesma época foi implantada a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico) → primeira de caráter executivo e a segunda de suporte técnico, organizada nos modos de uma empresa privada.

♦1971 - Substituição da SUSAM pelo PLANASA (Plano Nacional de Saneamento) → a meta era atender até 80% da população brasileira com sistemas adequados de água potável e 50% com sistemas de esgotos. Esse plano foi razoável em termos de abastecimento de água, mas insatisfatório quanto ao esgotamento sanitário.

♦1973 - SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) → órgão executor no Estado de São Paulo da política do PLANASA e tinha como prioridades a solução do problema de esgoto, empreendimento que não conseguiu realizar.

Neste período foi criada a SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente → com a incumbência de , entre outras atividades, promover a elaboração e o estabelecimento de normas e padrões relativos à preservação do meio ambiente, em especial dos recursos hídricos.

♦1974 - II Plano Nacional de Desenvolvimento → coloca em destaque o controle da poluição.

♦1978 - Criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH) → modelo tecnocrata e centralizado.

♦1981 - Política Nacional do Meio Ambiente. Lei Federal Nº 6.938 de 31 de agosto.

♦1982 - Proibição do lançamento de efluentes com substâncias não degradáveis, tóxicas ou cancerígenas na Bacia do Rio Paraíba do Sul.

♦1986 - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 20 → Estabelece nova classificação para as águas doces, bem como para as água salobras e salinas do Território Nacional.

♦1987 - As Leis Estaduais nº 5599, de 6 de fevereiro e nº 5650, de 28 de abril (CETESB,1988) → restringiram as atividades industriais respectivamente nas bacias dos rios Pardo e Mojiguaçu.

♦1988 - Em 5 de outubro foi promulgada a nova Constituição Brasileira → atribuindo ao aspecto jurídico da proteção do meio ambiente uma dimensão maior. A Constituição passa a ter um capítulo específico sobre o meio ambiente, que pelo Artigo 225 e seus respectivos parágrafos e incisos, trata o assunto de forma objetiva e abrangente. Além disso, aborda de forma explícita pontos fundamentais como a educação ambiental em todos os níveis de ensino, a exigência de estudo prévio de impacto ambiental para a instalação de obras ou atividades potencialmente causadoras de significativa degradação ao meio ambiente, e a obrigação de

reparar os danos causados ao mesmo. Assim, estes pontos tornaram-se princípios constitucionais.

◆ 1992 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio – 92) e conseqüentemente a formulação da Agenda 21.

◆ 1997 – A Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o SNGRH (Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos) → baseado no sistema francês, representa um marco institucional no país, definindo cinco instrumentos essenciais à boa gestão do uso da água. São eles: Plano Nacional de Recursos Hídricos, outorga de direito de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso da água, enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Estabeleceu também novos organismos como: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, Comitês de Bacias Hidrográficas, órgãos dos poderes públicos federais, estaduais e municipais cujas competências se relacionam com a gestão dos recursos hídricos e as Agências de Água.

◆ 1998 – É aprovada a Lei nº 9866 de Proteção das Bacias Hidrográficas dos Mananciais de Interesse Regional do Estado de São Paulo.

Se, por um lado o sistema institucional progrediu em seus pressupostos teóricos, objetivos e instrumentos, algumas questões, porém, permaneceram sem solução (PAVESI, 1998). A mesma autora comenta que pelo fato de a Constituição Federal atribuir à União a competência de legislar sobre águas, fica a legislação brasileira de águas impedida de evoluir com base nas experiências dos estados, que estão mais próximos dos problemas a serem resolvidos.

Outro fato é que de acordo com a Lei 9.433 de 1997, cabe ao Sistema manter o poder decisório concentrado no Colegiado Nacional, no qual a presença de órgãos federais é preponderante.

Dessa forma, BARTH² (1996) *apud* PAVESI (1998) considera que esses tipos de decisões entrariam em contradição com o princípio da gestão descentralizada, objeto de consenso em ocasião de importantes encontros sobre recursos hídricos e fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Por outro lado, os Comitês de Bacias vêm encontrando dificuldades, tais como, desagregação das secretarias executivas dos Comitês, falta de recursos financeiros e logísticos para o seu funcionamento, descontinuidade administrativa, assim como baixa participação dos segmentos envolvidos.

Portanto, é de fundamental importância a articulação entre gestão dos recursos hídricos e gestão das bacias hidrográficas e do uso do solo, dentro do sistema institucional brasileiro.

3.1.3 Controle da Poluição dos Recursos Hídricos

A proteção dos recursos hídricos e o controle da poluição da água devem abranger todo o ciclo hidrológico para que sejam plenamente eficazes. Cada fase do ciclo é passível de ser atingida por fatores antrópicos, que associados a fenômenos naturais, podem causar a degradação da qualidade da água.

O controle da poluição no Brasil, particularmente no Estado de São Paulo, foi implantado sob um iminente enfoque sanitário e corretivo que permanece em parte até os dias de hoje (SALVADOR, 1990).

As atividades limitavam-se basicamente ao controle das fontes poluidoras com o objetivo principal de reduzir a emissão de poluentes.

Na década de 70 foram introduzidos dispositivos legais de controle preventivo. Porém, tratavam das atividades poluidoras de forma pontual. Nessa época, o planejamento e o disciplinamento do uso e ocupação do solo já eram utilizados como instrumentos de controle de poluição,

² BARTH, F. T. (1996). A recente experiência brasileira de gerenciamento de recursos hídricos. *Cadernos Fundap*, nº 20; Política Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais. São Paulo, FUNDAP. P.59 – 75.

principalmente com o objetivo de se proteger os mananciais de abastecimento público.

Para SALVADOR (1990), o problema da poluição passou a ter um enfoque ambiental, exigindo uma abordagem interdisciplinar com o objetivo de intervir em todos os fatores de degradação ambiental. Surge nessa época o AIA (Avaliação de Impacto Ambiental) que encontrou os profissionais despreparados, nem tanto pela falta de capacidade técnica, mas pela deficiência de infra-estrutura e de organização das equipes multidisciplinares. Outro problema é a inadequação do mesmo à realidade brasileira.

As medidas tomadas para o controle da poluição das águas até o final da década de 80, embora tenham certamente evitado uma deterioração maior ou até mesmo o colapso da qualidade das águas das bacias hidrográficas do estado de São Paulo, não foi por diversos motivos, suficientemente eficazes na manutenção e melhoria desta qualidade de um modo geral (SALVADOR, 1990).

Atualmente, tanto do ponto de vista tecnológico, político, institucional, jurídico, e até mesmo econômico, existem condições eficazes para o controle da poluição e a proteção do meio ambiente. Neste contexto, a recuperação e a manutenção da qualidade da água é perfeitamente viável. É uma questão basicamente de decisão política, do Governo e da própria Sociedade.

SACHS (1997) ressalta também que a passagem do crescimento desprovido de consciência ecológica para o ecodesenvolvimento vai exigir mudanças profundas nos sistemas de regulação da economia, nas políticas públicas e nas estratégias de ocupação territorial, exigindo ainda a adequação de novos instrumentos de análise, planejamento, implementação e acompanhamento. O ecodesenvolvimento só se fará com o respeito à diversidade ecossistêmica, biológica e cultural, o que implica uma pluralidade de estratégias regionais, sobretudo em um país do tamanho do Brasil.

3.1.4 Gestão da Qualidade dos Recursos Hídricos

Em condições de abundância e uso pouco intensivo da água, são desnecessários maiores cuidados com o controle, em termos de quantidade e qualidade. Quando em situações de escassez relativa, essa medida precisa ser exercida, considerando o controle do regime, da poluição, da erosão do solo e do assoreamento (BARTH,1987).

De acordo com BRANCO (1991), para se permitir o permanente uso múltiplo da água, os recursos hídricos devem ser objeto de cauteloso planejamento, que deve levar em conta a questão da qualidade do recurso, uma vez que, como qualquer substância mineral a ser explorada, quanto maior for a quantidade de impurezas existente, maior será o custo de seu beneficiamento.

BARTH (1987) define o planejamento dos recursos hídricos como o conjunto de procedimentos organizados que visam ao atendimento das demandas de água, considerada a disponibilidade restrita deste recurso. A gestão de recursos hídricos, conforme definição do mesmo autor, é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as equações de escassez e que, havendo motivação política, é possível planejar o aproveitamento e o controle do recurso e ter meios de implantar as obras e medidas recomendadas, controlando-se as variáveis que possam afastar os efeitos nocivos ao planejado.

Para implementação de um sistema de gestão ambiental é necessária a delimitação de uma unidade geográfica. A utilização da bacia hidrográfica como unidade básica de gestão das águas é uma corrente em ampla expansão no mundo, sendo adotada em vários países, como França, Inglaterra e Alemanha. No Brasil, essa unidade geográfica é contemplada na Resolução CONAMA 01/86 BRASIL (1986), dentro das diretrizes gerais da avaliação de impactos ambientais, todavia, sua utilização em um sentido mais amplo, como unidade de gestão, ainda está incipiente.

Para SACHS (1986), uma gestão ambiental racional é condição fundamental à prevenção do esgotamento dos recursos naturais,

entendendo-se esta racionalidade como a adoção de um sistema que integre os diversos setores e propicie a atuação das comunidades regionais. Em síntese, estilo de planejamento descentralizado, sistêmico e participativo.

Da mesma forma que as características físicas de uma bacia hidrográfica condicionam a quantidade de água que chega aos corpos hídricos, as propriedades de um corpo d'água refletem as características de sua bacia de drenagem (PIRES e SANTOS, 1995).

Existe uma estrita relação de reciprocidade entre os usos do solo e os da água, de maneira que o equilíbrio natural dos recursos dentro de uma bacia de drenagem pode ser facilmente comprometido por certas mudanças e práticas de uso do solo. De fato, a maioria dos usos do solo depende da disponibilidade de água e ao mesmo tempo afeta o ciclo hidrológico em seus vários estágios, determinando efeitos globais e locais.

O uso irracional da água, juntamente com a remoção da vegetação nativa, produz impactos negativos sobre o solo, como o alagamento, a salinização e a conseqüente desertificação de áreas outrora férteis.

Existe ainda uma forte dependência entre as atividades situadas ao longo de um curso d'água. As atividades localizadas a montante podem prejudicar as atividades a jusante, pelos impactos que causam sobre a vazão e a qualidade da água.

Conforme LOUCKS (1994), as estratégias de desenvolvimento regional e de gerenciamento de bacias hidrográficas, que levam em consideração a eventualidade e a prevenção ou o equacionamento de conflitos pelo uso dos recursos, podem conduzir a níveis mais altos de sustentabilidade do que o planejamento em microescala.

3.1.5 Critérios e Padrões Ambientais

A água é um elemento vital à natureza e, como bem natural, é considerada como recurso essencial a quase todas as atividades humanas, como já mencionado anteriormente. Presta-se a múltiplos usos, cada um com suas particularidades.

Sendo um recurso de múltiplos usos, é compreensível que as características qualitativas da água sejam exigidas de forma diferente para os fins a que se destina.

Segundo BRANCO (1991), a definição de qualidade da água deve levar em conta o uso que se pretende fazer da mesma, com o termo qualidade não mais empregado com o significado de característica ou propriedade da substância em questão, mas usado com o sentido de mérito, grau ou valor.

O estabelecimento de formas de acompanhamento das características qualitativas da água, que permitam avaliar os níveis de poluição e as alterações que um corpo hídrico está sujeito, é essencial ao gerenciamento da qualidade da água.

Até o final do século passado, a água era caracterizada qualitativamente apenas por adjetivos, sem que valores específicos de controle fossem a ela associados.

Com a grande preocupação de se controlar as doenças de veiculação hídrica, marco do início deste século, a busca de critérios e padrões de qualidade das águas, de cunho numérico e/ou descritivo, foi fortemente impulsionada.

Os padrões de qualidade da água são valores-limites, estabelecidos por lei, para que se possa regulamentar e controlar os níveis de qualidade. Visam manter a qualidade do curso d'água ou definir uma meta a ser atingida, e ainda, ser a base para definir os níveis de tratamento a serem adotados na bacia, de modo que os efluentes lançados não alterem os requisitos de qualidade do corpo receptor, de forma a comprometer seu uso preponderante.



Na esfera federal, foi a Portaria MINTER n° GM 0013 de 15/01/76, que inicialmente regulamentou a classificação dos corpos d'água superficiais, com os respectivos padrões de qualidade e os padrões de emissão para efluentes.

No Estado de São Paulo estes padrões foram fixados pelo decreto n° 8468, de 08/09/76, que regulamentou a Lei n° 997, de 31/05/76, a qual dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Esse decreto define a classificação das águas interiores situadas no território do Estado de São Paulo, segundo os usos preponderantes, variando da Classe 1, a mais nobre, até a Classe 4, a menos nobre. Também são fixados, entre outros, padrões de qualidade das águas para efluentes líquidos de qualquer natureza.

O enquadramento dos corpos d'água do Estado de São Paulo foi estabelecido pelo Decreto n° 10.755 de 22/11/77.

Em 1986, a Portaria GM 0013 foi substituída pela Resolução n°20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, [a qual estabelece nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do Território Nacional.] São definidas cinco classes para as águas doces, segundo os usos preponderantes a que elas se destinam:

- ◆ Classe Especial, destinadas ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;

- ◆ Classe 1, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e de frutas cultivadas rente ao solo e consumidas cruas, e à aquicultura de espécies destinadas à alimentação humana;

- ◆ Classe 2, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas e à aquicultura;

- ◆ Classe 3, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à dessedentação de animais;

- ◆ Classe 4, destinadas à navegação, à harmonia paisagística e aos usos menos exigentes.

O fato de um trecho de rio estar enquadrado em determinada classe não significa, necessariamente, que esse seja o nível de qualidade que apresenta, mas sim aquele a ser alcançado e/ou mantido ao longo do tempo.

[Para cada uma das classes acima descritas, a Resolução CONAMA n° 20^(pelo anterior) estabelece limites e/ou condições de qualidade a serem respeitados, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido.]

Cabe ressaltar que, embora nas ações de controle ambiental desempenhadas no país, sejam considerados tanto os padrões de qualidade quanto de emissão, os últimos prevalecem, em muitos casos.

3.1.6 Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos. Constitui-se em um sensor que possibilita o acompanhamento dos processos de utilização dos cursos d'água, delineando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas de forma a subsidiar as ações de controle ambiental.

[Segundo GOIMBRA (1991), o monitoramento qualitativo fornece a base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, bem como a minimização de impactos ao meio ambiente, diante da possibilidade de avaliar conjuntamente as características da água com sua adequação aos usos previstos,] ou através da definição de projetos de recuperação e identificação dos níveis de poluição.

Para o monitoramento da qualidade das águas têm-se observado o uso de modelos matemáticos e Sistema de Informação Geográfica, sendo bem sucedidos devido ao custo acessível de alguns *softwares* e pela

possibilidade de melhor organização, manipulação, armazenamento e apresentação de dados.

O uso conjunto da modelagem e dos programas de monitoramento intensificam os estudos de qualidade, e, segundo McCUTCHEON (1989), é muito útil para a extrapolação dos dados observados, sendo superior a qualquer método estatístico aplicado para esta finalidade.

A integração da modelagem digital com o atual estágio do monitoramento ambiental permite atenuar limitações e ainda mais, junto à evolução tecnológica, que aponta para uma ampliação da utilização de sensores ambientais de leitura contínua, vislumbra um futuro no qual os instrumentos de gestão ambiental terão seus usos e resultados potencializados.

3.1.7 Sustentabilidade na Utilização dos Recursos Naturais Enfatizando os Recursos Hídricos

Para CAVALCANTI³ (1995) *apud* ALVES (1997), a sustentabilidade significa a possibilidade de se obter continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema. Numa situação sustentável, o meio ambiente é menos perceptivelmente degradado, embora, o processo antrópico nunca cesse, procedendo invisível e irrevogavelmente e levando ao declínio inflexível do estoque de energia disponível na Terra.

Os problemas ambientais são tratados, na economia, como se fossem pequenos desvios no funcionamento do sistema econômico. A faceta fundamental da questão ambiental, porém, é que são problemas que penetram no sistema e colocam em risco toda a estrutura biofísica do planeta, com óbvias conseqüências à continuidade da economia. Não há nenhuma regra para se escolherem quais políticas econômicas deveriam ser tomadas, quando se enfrentam as incertezas. Uma avaliação abrangente de

³ CAVALCANTI, C. (1995). Sustentabilidade da Economia: paradigmas alternativos de realização econômica. In: Cavalcanti, C., org. Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo, Partel, Cap.9, p.153-174.

riscos ambientais é que deve definir a direção a ser tomada (MÉRICO, 1996).

MÉRICO (1996) explica, ainda, que quando a sociedade destrói capital natural está invariavelmente destruindo *habitats* e reduzindo a biodiversidade. Quanto maior o estoque de capital natural, mais *habitats* poderão ser ocupados por seres vivos, mantendo a diversidade genética. A manutenção dos direitos da existência de todos os seres vivos é uma obrigação moral e ética, que é coerente com os princípios da sustentabilidade e que deve ser levada a sério pela atual civilização.

TIETENBERG (1994) considera a capacidade de suporte como um princípio do desenvolvimento sustentável, ressaltando que o desenvolvimento enfrenta limites físicos que devem ser previstos e acomodados. Tanto a capacidade do ambiente de absorver a poluição como a capacidade de fornecer recursos esgotáveis, como energia e minerais, são finitas. Os ecossistemas só podem tolerar uma certa quantidade de agressão sem que sofram mudanças, muitas vezes dramáticas, inesperadas e irreversíveis.

O direito à água é um dos direitos fundamentais do homem - o "direito à vida". Portanto, o planejamento e gestão da água devem levar em conta a solidariedade e o consenso em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra. A água é fonte da vida e do desenvolvimento. Trata-se de um recurso estratégico por questão de segurança nacional e por seus valores sociais, econômicos e ecológicos. Esse bem natural é um patrimônio da humanidade que serve para tudo e para todos, sendo, portanto, um mineral que deve ser compartilhado com as gerações atuais e futuras que habitam as bacias hidrográficas e suas fronteiras (MAIA NETO, 1997).

E ainda, se não forem adotadas em tempo providências hábeis como visão estratégica de futuro, no decorrer do terceiro milênio alguns países ricos poderão garimpar água e, muitos países pobres, como sempre, garimparão dinheiro para sobrevivência. Reduzindo o desperdício, recuperando a qualidade dos mananciais hídricos, racionalizando o consumo

e avançando com a tecnologia racional de exploração hídrica, a população mundial poupará um racionamento drástico de água futuramente.

3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

3.2.1 Histórico

O desenvolvimento dos SIG está diretamente ligado à evolução da computação gráfica e dos recursos computacionais, tanto em termos de *hardware* como de *software*, e o seu surgimento deu-se aproximadamente nas décadas de 40 e 50 a partir do surgimento dos sistemas CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Assisted Mapping*) e AM/FM (*Automated Mapping/Facility Management*), ferramentas usadas para codificação e representação da realidade física em meio digital (PEZZOTI, 1994).

Os precursores do uso de SIG foram norte-americanos e canadenses, principalmente na década de 60.

O desenvolvimento do SIG ocorreu em diferentes épocas e diversas partes do mundo, podendo ser subdividido em quatro fases segundo CARDOSO (1997) :

- ◆ a primeira, caracterizada pela iniciativa individual de alguns profissionais, aconteceu no período compreendido entre o início da década de 1960 e meados de 1973;

- ◆ a segunda, de 1973 até o início da década de 1980, foi caracterizada pela forte utilização de SIG em agências governamentais;

- ◆ a terceira fase, na qual predominou o domínio comercial, ocorreu de 1982 até o final da década de 1980;

- ◆ a quarta fase e atual é caracterizada pelo domínio do usuário e é facilitada pela competição entre vendedores, a padronização embrionária na abertura de sistemas e maior conscientização dos usuários sobre o que o SIG pode e parece fazer.

Ao longo dos últimos 30 anos, o campo do SIG apresentou um rápido desenvolvimento teórico, tecnológico e organizacional, culminando com o

período de intensa atividade nos últimos 5 anos. Atualmente o SIG é aceito como uma ferramenta essencial para o uso efetivo da informação geográfica.

3.2.2 Definição e Caracterização

Atrelado ao desenvolvimento tecnológico da Informática, surgem os Sistemas de Informação Geográfica como importante instrumento tecnológico da cartografia digital capaz de integrar, devido ao seu caráter interdisciplinar, diversas áreas do conhecimento humano, dado seu objetivo maior ser a geração e análise das informações relativas ao ambiente.

O SIG é uma forma particular de sistema de informação aplicado a dados geográficos. Um Sistema de Informação é um conjunto de processos, executados no dado natural, produzindo informações úteis na tomada de decisões.

DANGERMOND (1992) conceitua esses sistemas como um conjunto de *hardware*, *software* e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas.

Um SIG tem como característica principal o processamento dos dados contidos nos mapas, cruzando-os com outros dados não gráficos, através de métodos analíticos, gerando assim as informações de interesse do usuário (PEZZOTTI, 1994). O autor citado salienta ainda que um SIG deve conter três componentes básicos para se caracterizar: módulo processador, módulo manipulador de banco de dados e módulo de interface com o usuário, sendo que este último, possui quatro componentes, a saber:

◆ *Coleta, entrada e correção*: são operações que dizem respeito à alimentação de dados para o sistema, incluindo digitalização manual, varredura matricial, entrada de atributos via teclado e importação de bancos de dados de outros sistemas.

◆ *Armazenamento e realimentação*: estes mecanismos incluem o controle do armazenamento físico dos dados na memória, disco ou fita e

mecanismos de realimentação do sistema. Este módulo inclui os *softwares* usados para organizar espacialmente os dados dentro do modelo geográfico da realidade.

♦ *Manipulação e análise*: representa o largo espectro das técnicas adequadas para a transformação do modelo digital através de métodos matemáticos. A biblioteca dos algoritmos para processamento de dados é adequada para a transformação de dados espaciais, e os resultados desta manipulação são acrescentados ao banco de dados digital e incorporados aos mapas, gerando assim, novos mapas.

♦ *Saída e apresentação*: envolve a exportação de dados do sistema, tanto em linguagem analítica (arquivos digitais), como em formas compreensíveis para o ser humano (gráficos, tabelas e mapas).

Para que os elementos básicos de um determinado SIG possam ser utilizados de forma eficiente, é de fundamental importância que os profissionais ou responsáveis pelo projeto, implementação e uso do sistema sejam pessoas adequadamente treinadas e com visão do contexto global.

Todos os sistemas de informação geográfica, além de apresentarem os componentes básicos, apresentam diferentes formas de representação de dados. As mais utilizadas são: formato *vector* e formato *raster*. No presente estudo foi utilizado o formato *raster* e, portanto, será descrito a seguir.

Na estrutura *raster*, o valor de um parâmetro de interesse é desenvolvido para cada célula, seguindo uma frequência ordenada sobre o espaço, ou seja, a área de estudo é subdividida em uma fina malha de células, denominadas *pixels*, onde são registradas as condições ou atributos de uma superfície terrestre (BARGUIL, 1998), como mostra a figura 3.1.

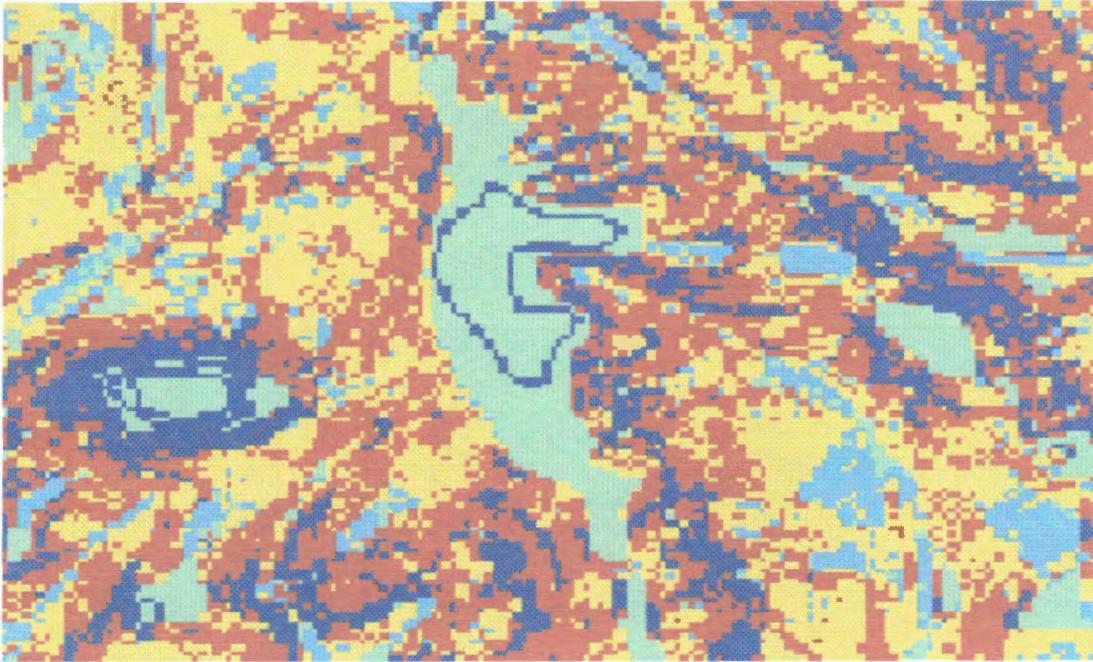


Figura 3.1: Representação do formato *raster* destacando-se os *pixels*.

Fonte: PRADO, 1999.

Cada cor representada na figura 3.1 está indicando uma classe do mapa, portanto, a cada *pixel* foi atribuído um determinado valor, denominado identificador. Cada unidade corresponde a um *pixel* cujo tamanho é estabelecido de acordo com o objetivo do trabalho. Quanto menor for o *pixel*, melhor serão representadas as características presentes no mapa.

O sistema *raster* possui algumas vantagens em relação ao vetorial como: definição uniforme do espaço geográfico em um simples e previsível uso, sua estrutura está mais próxima da arquitetura dos computadores digitais e são excelentes para avaliar modelos ambientais.

Como mencionado anteriormente, os sistemas de informação geográfica são capazes de sobrepor vários mapas contendo informações diferentes. A cada mapa temático, por exemplo: topografia, pedologia, hidrografia, denomina-se *layer*. Portanto obtêm-se um mapa síntese através do cruzamento de vários *layers*, contendo informações de várias ordens como pode ser observado na figura 3.2.

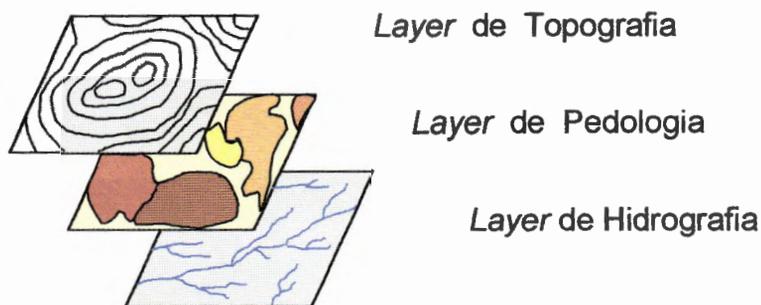


Figura 3.2: Representação da sobreposição de *layers*.

A grande quantidade de *softwares* disponíveis atualmente no mercado tem propiciado uma significativa diferenciação entre um e outro programa. Esta diferenciação ocorre em parte devido ao modo como estes programas representam e trabalham os dados geográficos, e também devido a ênfase dada às diferentes operações apresentadas nestes sistemas (EASTMAN, 1995).

No presente estudo foi utilizado o *software IDRISI for WINDOWS*.

3.2.3 O Sistema IDRISI for WINDOWS

Este sistema foi lançado em 1987 e desenvolvido pela Clark University, Massachussets, baseado na forma *raster* de representação de dados. Foi especialmente projetado para microcomputadores da linha PC-AT 386, PS 2.

Um aspecto importante é a possibilidade do usuário escrever programas específicos que possam ampliar a sua gama de aplicações. Utiliza banco de dados externo, com interface para outros *softwares*. Outro aspecto interessante do IDRISI é o fato de permitir migração direta de dados. É um sistema que se adequa às atividades de pesquisa e ensino devido ao seu custo relativamente baixo e a sua estrutura modular, o que permite o desenvolvimento de novos módulos com o conhecimento mínimo da estrutura interna de funcionamento. Por outro lado, o sistema oferece um

número razoável de possibilidades em relação às operações sobre os dados (TEIXEIRA; MORETTI; CHRISTOFOLETTI, 1992).

Este sistema tem sido freqüentemente utilizado para realização de trabalhos de ordem ambiental, podendo citar RANIERI (1996), ALVES (1997), FONTES (1997), PAVESI (1998), BARGUIL (1998) dentre muitos outros apenas na EESC – USP São Carlos.

3.2.4 Utilização (Vantagens e Desvantagens)

"Um sistema de informação organiza os dados em uma estrutura, de modo que observações simples podem ser convertidas em informações mais úteis. Um sistema de informação geográfica serve a necessidades específicas quando a descrição geográfica exerce um papel central na observação" (CHRISMAN, 1997).

No SIG, o principal objetivo é o suporte à tomada de decisões, para gerenciamento de uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente (CARDOSO, 1997).

O desenvolvimento do SIG tem se baseado em inovações que ocorreram em disciplinas distintas: geografia, cartografia, fotogrametria, sensoriamento remoto, topografia, geodésia, engenharia civil, estatística, ciência da computação, pesquisas operacionais, inteligência artificial, demografia, e muitos outros ramos das ciências sociais, ciências naturais e engenharias, com a contribuição de todas as citadas disciplinas (MENEGUETTE, 1999).

EBERT *et. al.* (1993) salientam que a elaboração de mapas geológicos e geográficos, tem passado gradativamente a ser realizada de forma digital com os recursos da informática, sendo suas principais vantagens:

- ◆ flexibilidade e agilização dos trabalhos, permitindo uma coleta de dados e impressão final em qualquer escala, uma constante atualização e modificação dos mapas;

♦ melhor interpretação, através da combinação de diferentes mapas temáticos sobrepostos, proporcionando uma visão completa dos produtos e de sua integração com outros programas de processamento gráfico ou numérico.

Com o surgimento dos SIG, foi possibilitado estudar aspectos complexos envolvendo áreas extensas, facilitando o manuseio de grandes quantidades de informações com resultados mais rápidos e confiáveis (AUGUSTO, 1996).

A difusão da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica reflete sua extensa funcionalidade na abordagem de problemas relacionados aos recursos naturais e suas variáveis. Tal funcionalidade é oriunda, em grande parte, dos recursos oferecidos pelo componente *software* do SIG para manuseio, análise e operações de dados espaciais, possibilitando a obtenção de novas informações essenciais aos processos de planejamento e tomada de decisões (ALVES, 1997).

SIMONETT (1993) cita uma entre as mais interessantes vantagens dos SIG. Especialmente nos países do terceiro mundo, onde a burocracia é mais exacerbada e a administração setorizada, os SIG oferecem a oportunidade de abrir canais de comunicação entre agentes que, mesmo trabalhando em diversas organizações ou departamentos de uma mesma organização, podem se sentir estimulados a interagir, uma vez conscientes do fato de que as próprias atividades possuem uma dimensão espacial comum.

Segundo CARDOSO (1997), em um contexto mais amplo existem quatro razões principais para o SIG ter se tornado tão popular a partir da década de 80:

♦ Nos últimos anos houve, sem dúvida, uma proliferação maciça da informação sobre os muitos aspectos do ambiente cultural e natural: satélites de sensoriamento remoto, mapeamento de população e mercado, mapeamento topográfico, coleção e armazenamento de grande quantidade de dados na forma digital. A maioria destes dados tem algum tipo de referência geográfica associada a eles.

◆ Essa referência geográfica fornece a maneira efetiva da ligação de conjuntos de dados e este princípio, talvez mais do que qualquer outro, é a razão para o sucesso do SIG.

◆ O SIG tem grande aplicação comercial e fatores de grande importância na expansão e no contínuo sucesso do SIG têm sido a redução rápida nos preços de *hardware* e *software* ocorrida nas últimas décadas e a introdução dos microcomputadores no final dos anos 70.

◆ A tendência parece continuar, com o desenvolvimento contínuo de *microchips* menores, mais rápidos e mais baratos nos anos 90.

Os sistemas de informação geográfica têm desempenhado um papel importante na integração de tecnologias. Ao invés de possuir natureza completamente nova, os SIG têm unido várias tecnologias discretas em um todo, que é maior do que a soma das partes. O SIG vem emergindo como uma tecnologia eficiente porque permite aos geógrafos integrarem seus dados e métodos apoiando as formas tradicionais de análise geográfica, tais como análises por sobreposição de mapas e novos tipos de análises e modelagem que ultrapassam a capacidade de métodos manuais. Também é possível elaborar mapas, modelar, fazer buscas e analisar uma grande quantidade de dados, todos mantidos em um único banco de dados.

Porém, esses sistemas apresentam algumas desvantagens. Devido a grande quantidade de dados pode ocorrer possíveis erros em uma base de dados do SIG. Dentre eles, BURROUGH (1987) cita os erros resultantes da escala do mapa, da imprevisão do conteúdo, do mau processamento de dados e erros associados com a digitalização e sobreposição dos mapas.

Um outro problema em se tratando de SIG, é a generalização. Segundo JOÃO (1998) a generalização é uma característica inerente de todos os dados geográficos. Todos os mapas, sejam digitais ou analógicos, são representações generalizadas da realidade; quanto mais genérico for o mapa, mais distante se torna da realidade. A generalização representa o processo pelo qual a presença de fenômenos ou eventos em um determinado espaço se torna essencialmente reduzida e/ou modificada em

termos de seus tamanhos, formas e quantidade no contexto do espaço do mapa.

3.2.5 Aplicação dos SIG em Projetos Ambientais Utilizando Bacias Hidrográficas como Unidade de Estudo

A bacia hidrográfica é o módulo espacial que caracteriza o meio natural pelo impacto que a drenagem da precipitação tem sobre todos os demais recursos e elementos da própria bacia.

Torna-se, portanto, clara a necessidade do gerenciamento de bacias hidrográficas pela administração dos conflitos de uso, disponibilizando as diversas necessidades de água e promovendo assim a qualidade ambiental de tais bacias.

Diversos estudos de ordem ambiental têm tomado como unidade de estudo as bacias hidrográficas, utilizando como ferramenta os Sistemas de Informação Geográfica.

O Programa Nacional do Meio Ambiente PNMA/BIRD/PNUD tem como um dos seus componentes o Plano de Controle da Bacia do Alto Paraguai. Este plano propõe ações que promovam o desenvolvimento sustentável e o incremento daquelas que objetivam a melhoria da qualidade de vida da população diretamente envolvida.

Para a criação do banco de dados para o SIG, tornou-se necessário o preparo e compatibilização das informações existentes em diferentes órgãos estatais, sua digitalização, criação de banco de dados geográfico e desenvolvimento de aplicativos que definiram as unidades ambientais naturais, unidades de fragilidade do ambiente natural e unidades ambientais sócio-econômicas. Foram tratados em ambiente de geoprocessamento os seguintes temas: geologia, pedologia, geomorfologia, recursos hídricos, climatologia, vegetação e fauna, uso do solo, dinâmica demográfica, condições de vida e aspectos sócios econômicos (LOBO, 1999).

A bacia hidrográfica do rio Passaúna (PR) foi estudada por ROSARIO e PECCIOLI FILHO (1999) por meio do Projeto de Monitoramento

de Bacias Hidrográficas. A mesma tem sofrido intensa descaracterização, a cobertura vegetal nativa foi substituída por atividades agrícolas e áreas urbanizadas, nem sempre realizadas com um planejamento adequado que levasse em conta o equilíbrio do meio ambiente.

Optou-se pelo desenvolvimento do projeto nesta bacia, já que a mesma é responsável pelo abastecimento de água potável para 30% da população da região metropolitana de Curitiba, maior concentração populacional do estado do Paraná. O trabalho visou demonstrar o uso de sistemas de informação geográfica, com técnicas de geoprocessamento, como uma ferramenta para planejamento, desenvolvimento e aplicação na política de controle ambiental, tendo a qualidade da água como principal fator. A filosofia na qual se fundamenta e se desenvolve o trabalho, é de buscar soluções para o conflito entre as necessidades de utilizar e a necessidade de preservar o meio ambiente.

Outro projeto que pode ser citado nesse contexto, foi desenvolvido pela ECOFORÇA juntamente com o Núcleo de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (NUCATE/UNICAMP/EMBRAPA) e instituições internacionais, cujos objetivos visavam a aplicação de SIG na avaliação do impacto ambiental e da sustentabilidade agrícola, na região de Campinas (NUCATE, 1999)

O projeto obteve como resultados mapas relacionados à capacidade de uso das terras, uso atual das terras, impacto ambiental na agricultura e sustentabilidade agrícola, necessários para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção, interagindo entre várias propriedades rurais da bacia hidrográfica em estudo.

3.3 SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO

3.3.1 Histórico

O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto esteve cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro método de sensoriamento

remoto a ser utilizado. Este termo surgiu pela primeira vez em 1960. Desde então tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos e integrados, derivados de diferentes campos.

As atividades espaciais iniciaram-se em 1957 com o lançamento do satélite SPUTNIK pela então U.R.S.S. O primeiro satélite experimental tendo a bordo um sensor meteorológico foi lançado pelos Estados Unidos em 1960 (BARGUIL, 1998). A partir desta época surgiram vários satélites com objetivo de atender às pesquisas meteorológicas.

Em 1972 foi lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) o primeiro satélite de recursos naturais o ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), o qual posteriormente foi renomeado para LANDSAT-1. Este foi seguido de uma série de satélites, sendo que em 1999 está planejado o lançamento do sétimo com várias inovações tecnológicas decorrentes não só do desenvolvimento de detectores e componentes ópticos mais eficientes, como também, em decorrência das demandas da comunidade de usuários de produtos de sensoriamento remoto.

Outros projetos foram desenvolvidos após o lançamento da série LANDSAT, entre eles o projeto SPOT (System e Probatoire d'Observation de la Terre) desenvolvido pela França em colaboração com a Bélgica e a Suécia, tendo seu primeiro satélite lançado em 1986 e o segundo em 1990 (CHUVIECO, 1990). Outros países também têm se empenhado no desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto.

CRÓSTA (1996) faz uma avaliação dos sensores que estarão disponíveis no futuro. Segundo ele as empresas afirmam que estes sensores serão de qualidade comparáveis às fotografias aéreas, com vantagens de poderem ser obtidas a um custo relativamente menor e com maior periodicidade, em curto espaço de tempo e principalmente estarão disponíveis na forma digital, inteiramente compatíveis com os SIG de estrutura *raster*.

3.3.2 Definição e Caracterização

Sensoriamento remoto pode ser definido como a aquisição de informações sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações sobre o objeto, neste caso, são derivadas a partir da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam. Estes campos de força podem ser eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (LAZZAROTTO, 1999).

As imagens de sensoriamento remoto demonstradas na figura 3.3 são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha, *grid* ou matriz. Cada unidade desta matriz tem sua localização definida com um sistema de coordenadas coluna e linha, representados por *x* e *y*, respectivamente. *Pixel* é o nome dado a essas unidades, já mencionado no item 3.2.2. Para um mesmo sensor remoto, cada *pixel* corresponde a uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. O *pixel* possui também um atributo numérico *Z*, que indica o nível de cinza representando a intensidade da energia eletromagnética medida pelo sensor, para a área da superfície terrestre correspondente (LAZZAROTTO, 1999).

Os sensores captam informações resultantes da interação da energia eletromagnética com os objetos e fenômenos da superfície terrestre. Essa energia pode ser refletida, transmitida, absorvida ou emitida pela superfície e, a partir destas interações, derivar informações importantes sobre características físicas e químicas dos alvos em estudo. A energia captada pelos sensores pode ser oriunda de uma fonte externa ao alvo (o sol), interna (energia térmica própria dos alvos), ou ainda proveniente do próprio sensor (pulsos de microondas).

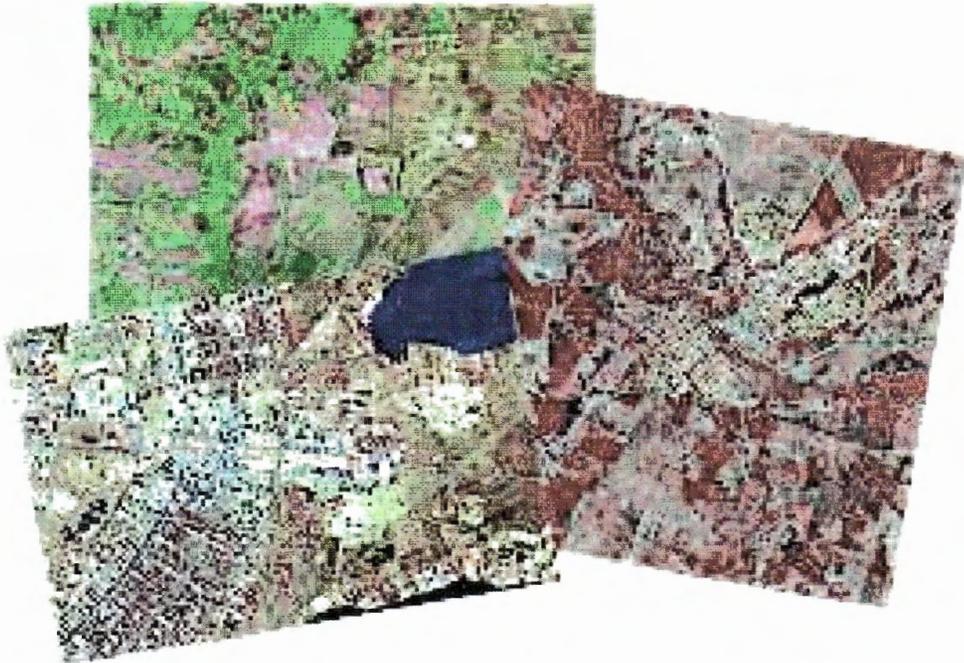


Figura 3.3: Representação de imagens de satélites (NOVO, 1999).

O sensoriamento remoto pode ser visto como um sistema de aquisição de informações, que pode ser dividido em dois grandes subsistemas:

- ◆ subsistema de coleta de dados de sensoriamento remoto,
- ◆ subsistema de análise de dados de sensoriamento remoto.

O subsistema de coleta de dados, por sua vez, tem duas funções principais:

- detecção da radiação proveniente da superfície;
- transformação da radiação para posterior transmissão e registro.

Os tipos de dados de sensoriamento remoto a serem adquiridos dependem do tipo de informação necessária, do tamanho e da dinâmica dos objetos ou fenômenos estudados. Eles podem ser adquiridos no formato de imagens bidimensionais quando são necessárias informações com alta resolução espacial como é o caso da imagem LANDSAT/TM, como as imagens utilizadas neste trabalho. Tais imagens também são importantes

quando se deseja informação sinóptica sobre amplas áreas como aquelas fornecidas pelos satélites meteorológicos.

3.3.3 Sistema LANDSAT

Segundo STAR e ESTES⁴ (1990) *apud* BARGUIL (1998), com o lançamento do sistema LANDSAT iniciou-se um dos períodos de maior avanço na ciência e tecnologia do sensoriamento remoto, assim como nas áreas relacionadas que se utilizam deste instrumento.

O satélite LANDSAT/TM possui as seguintes bandas:

- Banda 1 → azul
- Banda 2 → verde
- Banda 3 → vermelho
- Banda 4 → infravermelho próximo
- Banda 5 → infravermelho médio
- Banda 6 → infravermelho médio
- Banda 7 → infravermelho médio

As bandas 3,4 e 5 geralmente são as mais solicitadas. Essas foram também as bandas utilizadas no caso das imagens obtidas sobre uso e ocupação do solo neste estudo.

O sensor Thematic Mapper (TM) foi elaborado, como o próprio nome sugere, para a cartografia temática e representou uma inovação em relação aos demais sensores. As características presentes no sensor TM propiciam uma maior precisão para a cartografia temática, permitindo ampliar o leque de aplicações operativas a partir dos sensores espaciais (CHUVIECO, 1990).

As aplicações potenciais das bandas TM do satélite LANDSAT5 utilizadas no presente trabalho são descritas a seguir:

- ◆ Banda 3 - absorção de clorofila, distinção das formações vegetais, distinção de variações de densidades urbanas e estudo do uso do solo;

⁴ STAR, J.; ESTES, J. (1990). *Geographic Information Systems*. New Jersey, prentice Hall. 303p.

- ◆ Banda 4 - estudos do volume de biomassa e delimitação de corpos d'água;
- ◆ Banda 5 - estresses de vegetação por desequilíbrio de água na cobertura foliar e estudo de estrutura urbana.

3.3.4 Utilizações

As imagens de satélites estão sendo cada vez mais utilizadas em qualquer atividade que de alguma forma envolva o conhecimento do revestimento do solo em nível regional. Com o advento dos dados de imagens de alta resolução de satélites como o LANDSAT Thematic Mapper (TM) e SPOT High Resolution (HRV), estudos são realizados para acessar o potencial das técnicas de processamento digital de imagens para mapear, monitorar e planejar.

Dentre as áreas nas quais o sensoriamento remoto tem sido freqüentemente aplicado podem-se destacar:

- ◆ *Análise e monitoramento do uso da terra* → O conhecimento atualizado da distribuição e área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções das mudanças, se tornam cada vez mais necessárias a legisladores e planejadores. Informações atualizadas de uso e revestimento da terra podem ser úteis no inventário de recursos naturais, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas, entre outros. O levantamento do uso da terra em determinada região tornou-se um item fundamental na compreensão de padrões de organização do meio ambiente. Assim, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso do solo para análise de tendências. Neste contexto, o sensoriamento remoto é uma técnica bastante útil e permite obter, em curto prazo, grande quantidade de informação sobre registros de uso da terra.

- ◆ *Agricultura* → O sensoriamento remoto na agricultura pode se aplicar às atividades de levantamento e caracterização de solos ou

identificação e mapeamento de culturas. Informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, área plantada e distribuição espacial, são fundamentais na tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades e liberação de financiamento pelos setores públicos ou privados envolvidos na agricultura. O sensoriamento remoto fornece estes dados atualizados e a custo relativamente baixo.

◆ *Florestas* → O sensoriamento remoto fornece diversas aplicações relacionadas a estudos florestais como, por exemplo, inventário florestal, prevenção de incêndios florestais, locação de estradas, identificação de extratos e tipologias florestais.

◆ *Geologia e Geomorfologia* → Tanto a Geologia como a Geomorfologia são ciências muito beneficiadas pelas técnicas de sensoriamento remoto, já que as feições estudadas são geralmente de grandes dimensões. Uma visão global e circunstanciada do ambiente torna o estudo mais fácil e preciso. Além disso, para o reconhecimento de formas, o sensoriamento remoto usa técnicas que permitem a visão tridimensional do terreno.

◆ *Planejamento municipal e regional* → No planejamento municipal e regional podem-se citar algumas aplicações nos campos de levantamento, mapeamento e monitoramento de uso e ocupação atual e multitemporal do solo urbano e rural, estradas, acessos, ferrovias, linhas de alta tensão, bem como áreas adjacentes, mananciais de abastecimento e qualidade de água. Ainda, com a finalidade de suporte e apoio, podem-se citar os planos diretores de desenvolvimento integrado, elaboração e atualização de cadastros técnicos urbanos e rurais, manejo integrado de bacias hidrográficas e programas de saneamento ambiental.

◆ *Recursos hídricos* → Atualmente os dados de sensoriamento remoto são incorporados ao estudo de recursos hídricos de três formas:

- análise qualitativa de imagens e fotografias aéreas, que permite a identificação de alterações locais na cor e no volume de água de rios e reservatórios;

- mapeamento de superfícies líquidas, identificação de sistemas de falhas e fraturas,
- análise quantitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades espectrais da água.

3.3.5 Integração de SIG e Sensoriamento Remoto

Um aspecto importante é o uso integrado de imagens de sensoriamento remoto com informações auxiliares em SIG, como foi utilizado no presente estudo, proporcionando mais precisão na interpretação de um determinado tema. As vantagens do uso integrado das informações, para corrigir, atualizar e manter bases de dados cartográficos e sistemas de informação geográfica, vêm sendo amplamente demonstrada nos últimos anos.

Um SIG quando combinado com dados atualizados de sistemas de sensoriamento remoto, pode auxiliar na automação da interpretação, identificação de mudanças, compilação e revisão de mapas. Como grande parte dos SIG têm capacidade de sobrepor vários layers com dados referenciados, é possível que o usuário possa determinar, graficamente e analiticamente, a forma como estruturas e objetos interagem entre si (EHLERS, 1991).

Para que o sensoriamento remoto seja realmente integrado com os sistemas de informação geográfica, alguns impedimentos técnicos devem ser superados, como ressalta alguns autores, entre eles EHLERS (1991):

- ◆ intercâmbio de dados entre padrões de arquivo *raster* e *vector*,
- ◆ armazenagem, processamento e visualização requerida para dados de SIG e imagem de satélite;
- ◆ interfaces com o usuário, comuns para SIG e processamento de imagem;
- ◆ utilização do conhecimento de SIG para extração de informações a partir de imagens.

Dados provenientes de sensoriamento remoto são, e certamente continuarão sendo, a maior fonte de dados para muitos sistemas de informação geográfica, e cada vez mais estarão gerando informações atualizadas e precisas, com rapidez e eficiência.

3.4 AUTODEPURAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

3.4.1 Processo de Autodepuração de Águas Superficiais

Os despejos orgânicos, tanto de origem sanitária como industrial, possuem cadeias complexas que são metabolizadas por bactérias no seu processo de nutrição. Inicialmente, quando existe oxigênio dissolvido no meio, o processo de decomposição é realizado por bactérias aeróbias, que oxidam a matéria orgânica produzindo compostos estáveis como gás carbônico e água, além de energia. Quando todo o oxigênio é esgotado, a decomposição passa a ser realizada por bactérias anaeróbias, que metabolizam a matéria transformando-a em compostos menos complexos, mas ainda orgânicos, como metano, ácidos voláteis e outros.

No processo aeróbio existe ainda a oxidação de compostos nitrogenados por bactérias nitrificantes, que transformam a amônia presente em nitritos e estes em nitratos, consumindo também oxigênio. Tal processo é conhecido por nitrificação e ocorre praticamente numa fase posterior à oxidação da matéria carbonácea, quando a sua concentração já se encontra bastante baixa.

Tanto a oxidação da matéria carbonácea como a nitrificação consomem oxigênio, cuja conseqüência é a desoxigenação do meio, com a ocorrência de um *déficit* do oxigênio dissolvido. Esse *déficit* corresponde à diferença entre a concentração de saturação do oxigênio na água, em permanente equilíbrio com a pressão parcial do oxigênio atmosférico, e a concentração existente num determinado tempo.

Posteriormente, o *déficit* tende a ser compensado por dois fenômenos: a reaeração superficial, resultante da troca gasosa na interface

ar-líquido, e a reoxigenação a partir da produção fotossintética, devido à presença de algas no meio. A tendência final será a recuperação das condições iniciais ou seja, a saturação de oxigênio, completando o processo de autodepuração (SALVADOR, 1990).

Em geral considera-se que o fenômeno de autodepuração dos cursos de água se resume na recuperação do oxigênio perdido, o que não é bem verdade. A depuração consiste, obviamente, na eliminação de impurezas. Esse processo inicia-se logo após o momento em que o rio recebe as descargas poluidoras e inclui todo o processo de assimilação, decantação, digestão e oxidação da matéria orgânica introduzida.

Em outras palavras, a autodepuração pode ser definida como o processo natural de oxidação que é realizado lentamente, através de reações enzimáticas promovidas por microrganismos que se desenvolvem e proliferam rapidamente, no esgoto rico em substâncias orgânicas que lhes servem de alimento.

BRANCO (1986) menciona que em um rio que recebe poluição, sucedem várias zonas ecológicas, caracterizadas por diferentes concentrações de matéria orgânica, oxigênio, entre outros.

De acordo com SUTER E WHIPPLE⁵ *apud* BRANCO (1986), o processo de autodepuração pode ser dividido em quatro zonas:

◆ *Zona de degradação* → No ponto onde é feito o lançamento da fonte poluidora. A água torna-se turva e ocorre deposição de partículas no fundo. Nesta região a decomposição não ocorre ou ocorre em pequena escala. O teor de oxigênio ainda é suficiente para permitir uma diversidade de espécies. Começam a proliferar as bactérias aeróbias, e a DBO é alta. O número de coliformes fecais também é bastante elevado.

◆ *Zona de decomposição ativa* → Ocorre em águas que recebem forte carga de esgotos apresentando cor cinza e lodos escuros. O nível de oxigênio cai drasticamente, predominando organismos anaeróbios. Há nesta fase desprendimento de gases, provocando mau cheiro e o número de

⁵ WHIPPLE, G. C. et al. (1954). *The Microscopy of Drinking Water*. E.U.A., Jonh Wiley e Sons.

coliformes decai. O nitrogênio é encontrado em grande quantidade, ainda na forma orgânica, mas predominantemente na forma de amônia que pode iniciar sua oxidação a nitritos.

♦ *Zona de recuperação* → As águas apresentam-se muito mais claras e o material depositado no fundo apresenta uma granulometria mais grossa, não apresentando mau cheiro. Entre os compostos de nitrogênio predominam as formas mais oxidadas como nitritos e nitratos. É uma zona de mineralização, na qual o teor de oxigênio começa a se elevar devido ao aparecimento das primeiras algas.

♦ *Zona de águas limpas* → As águas atingem aqui as condições normais existentes antes do lançamento dos esgotos, pelo menos no que diz respeito ao teor de oxigênio dissolvido, à DBO e aos valores de coliformes. Predominam as formas mais oxidadas e estáveis de compostos minerais: nitratos, fosfatos, entre outros.

O conceito de capacidade de autodepuração apresenta a mesma relatividade que o conceito de poluição. Uma água pode ser considerada depurada, sob o ponto de vista de sua utilização imediata, mesmo que não esteja totalmente purificada em termos higiênicos, apresentando, por exemplo, organismos patogênicos. Diante do exposto, esta capacidade de autodepuração está intimamente atrelada aos usos preponderantes a que se destina cada trecho de um curso d'água, sendo sua quantificação realizada mediante padrões de qualidade das águas, definidos no seu enquadramento geral.

Para auxiliar a recuperação de um rio, deve-se primeiramente, eliminar os fatores deteriorantes. Se estes já foram lançados no rio, pode-se fazer a intensificação da capacidade de autodepuração por intermédio de aerações, regularização da vazão do rio, elevando a turbulência, entre outros.



3.4.2 Modelagem e Simulação

Para LIMA (1997), a análise dos efeitos da entrada de esgotos sanitários, efluentes industriais e agrícolas nos corpos hídricos está intrinsecamente relacionada com a compreensão dos processos de transporte e transformação de seus constituintes. Todavia, devido às múltiplas inter-relações dentre estes processos torna-se inevitável a análise de forma conjunta. Surge porém, a necessidade da representação matemática destes fenômenos, atributo dos modelos digitais.

O modelo é um agrupamento de conceitos em uma formulação matemática que busca a aproximação e o equacionamento de um sistema natural ou fenômeno, que quando composto por algoritmos computacionais é denominado modelo digital.

Para GUIMARÃES e SARMENTO (1997), o uso da modelagem matemática em Engenharia Ambiental permite o planejamento da área destinada a múltiplos usos, como abastecimento público, irrigação, lançamento de efluentes industriais e sanitários e pesca. Os modelos produzem resultados que devem ser analisados considerando-se os vários cenários de lançamento de efluentes, as várias tecnologias de tratamento dos mesmos e os vários pontos de lançamento. O planejamento resulta na melhor localização dos pontos de lançamento contribuindo para melhoria da qualidade do manancial.

Existem vários tipos de modelos de simulação como, por exemplo, modelos físicos, biológicos, ecológicos, matemáticos (analíticos e numéricos), probabilísticos, simulações qualitativas, dentre outros.

No presente estudo será utilizado um modelo matemático. Os modelos matemáticos procuram simular os fenômenos físicos e biológicos e as relações ecodinâmicas, expressando-os matematicamente, utilizando formulações e dados obtidos previamente, através de levantamentos, medições, determinações experimentais, além de outros exemplos.

A modelagem matemática constitui-se no processo de transferência de um problema do ambiente real para o ambiente matemático, com a representação desta realidade por meio de um modelo.

Devido à impossibilidade de se reproduzir o ambiente real exatamente como ele é, são efetuadas simplificações e a divisão do sistema em submodelos, o que confere a possibilidade de várias alternativas de representação, com distintas limitações (LIMA, 1997).

A simulação é o processo de utilização do modelo que, para cenários pré-definidos, são atribuídos os correspondentes dados de entrada, podendo os resultados saírem na forma de listagens ou por meio de representação gráfica (LIMA, 1997).

3.4.3 Usos e Limitações dos Modelos

A década de 70 caracterizou-se pelo desenvolvimento de grande número de modelos, entretanto, muitos destes, desenvolvidos para uso em computadores de grande porte. A partir dos anos 80, houve grande evolução e disseminação do uso de microcomputadores, a cada dia com maior velocidade de processamento e capacidade de memória, o que desencadeou um extensivo crescimento da aplicação da simulação computacional nos estudos de qualidade de corpos hídricos (LIMA, 1997).

Entretanto, os modelos têm que ser escolhidos e adaptados de acordo com o objetivo do trabalho. EIGER (1991) comenta que alguns modelos são suficientemente precisos para representar uma situação real, em outros casos são empregados apenas como uma primeira aproximação da realidade, devido à maior magnitude dos erros envolvidos decorrentes das aproximações adotadas. Finalmente, quando a realidade é muito mais complexa do que a abrangência das hipóteses adotadas para a formulação de um modelo matemático, então o emprego de um modelo matemático inadequado pode gerar conclusões duvidosas.

É conveniente ressaltar que em muitos problemas reais ocorre uma separação de escalas de tempo e espaço dos diferentes processos que governam o transporte e as transformações do poluente em um corpo hídrico. Como exemplo, uma forte mistura hidrodinâmica pode ocorrer em poucos minutos, enquanto algumas reações bioquímicas ocorrem na ordem

de horas e dias e um efeito de toxicidade ecológica é da ordem até de semanas e meses. Como os modelos já disponíveis foram desenvolvidos para fins específicos, a condição temporal envolvida constitui-se em um importante parâmetro de seleção dos mesmos para os objetivos que se pretende alcançar em um estudo.

A interpretação das limitações dos modelos de qualidade de águas superficiais passa, necessariamente, pela compreensão dos processos de formulação e resolução, haja visto que os mesmos derivam de simplificações de equacionamentos teóricos, descrições empíricas e fenomenológicas, e como utilizam-se de métodos numéricos de resolução, também são passíveis de incorporação de erros digitais.

Para SALVADOR (1990), os modelos além de serem dinâmicos, promovem a interdisciplinaridade no processo de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), tratam de relações lineares, permitem projeções temporais, tratam grande quantidade de dados, comparam alternativas com facilidade e são extremamente rápidos quando se utilizam recursos computacionais nas simulações.

3.4.4 Modelos de Qualidade de Água

A capacidade de assimilação de cargas orgânicas pelos cursos d'água foi inicialmente avaliada por STREETER e PHELPS (DOBBINS, 1964), que desenvolveram em 1925 um modelo para as condições do rio Ohio, nos EUA. Através desta teoria é possível estimar a DBO e o OD ao longo de um curso d'água.

As equações de STREETER-PHELPS foram deduzidas segundo as seguintes suposições:

- a DBO está sendo removida ao longo do rio pela oxidação bioquímica da matéria orgânica;
- o oxigênio consumido está sendo substituído pela reaeração da superfície.

Além destas duas suposições DOBBINS (1964) sugere que todos os seguintes processos ou alguns deles podem também estar ocorrendo:

- remoção de DBO por sedimentação ou adsorção;
- adição de DBO ao longo do rio por arraste dos depósitos do fundo ou por difusão dos produtos orgânicos parcialmente decompostos da camada bentônica para as camadas superiores;
- adição de DBO ao longo do rio, pelo escoamento superficial para suprir a necessidade de oxigênio da zona aeróbia desta camada;
- remoção de oxigênio dissolvido da água pela ação do arraste dos gases em ascensão, provenientes da camada bentônica;
- adição de oxigênio dissolvido pela ação do plâncton e dos vegetais aquáticos;
- contínua redistribuição de DBO e oxigênio dissolvido pelo efeito da dispersão longitudinal.

Quando as equações de STREETER-PHELPS não são aplicáveis devido à influência dos vários processos citados anteriormente, a análise deve ser feita usando-se um balanço de massa de oxigênio para o trecho do rio considerado. Entretanto, nem sempre é possível obter uma estimativa de todas as quantidades envolvidas no balanço, devido à insuficiência de dados.

Para a aplicação destas equações deve-se considerar que a absorção de um gás por um líquido seja um processo de primeira ordem e, portanto, que a taxa de absorção seja proporcional ao *déficit* de oxigênio.

DOBBINS (1964) deduziu equações gerais do perfil de DBO e OD ao longo de um trecho de rio, segundo as seguintes suposições:

- o regime de escoamento do rio é permanente e uniforme;
- os processos de conversão no trecho do rio estão em regime permanente;
- a remoção de DBO é uma reação de primeira ordem para todos os processos envolvidos nesta remoção (oxidação bioquímica, sedimentação, adsorção, etc.), ou seja, a taxa de remoção de

DBO em qualquer seção é proporcional à quantidade de DBO presente;

- o consumo de oxigênio pela camada bentônica e pelos vegetais aquáticos, a adição de oxigênio pela fotossíntese e a adição de DBO pelo escoamento superficial são todos uniformes ao longo do trecho;
- a DBO e o OD são uniformemente distribuídos por toda a seção transversal do rio, o que permite que se utilize equações unidimensionais.

KOUSSIS *et al.* (1990) apresentaram as limitações da aplicação da solução das equações de STREETER-PHELPS em cenários que necessitam considerar os efeitos da dispersão longitudinal.

GASTALDINI (1982) utilizou um modelo unidimensional denominado QUAL I, criado em 1960 para verificar capacidade de autodepuração, fundamentado na solução numérica da advecção-dispersão para descrever o comportamento em regime permanente de vários constituintes do rio Jacaré-Guaçu, no Estado de São Paulo.

Um modelo aplicado à determinação da qualidade de água que tem sido bastante utilizado é o QUAL-2E. Trata-se de um modelo unidimensional aplicável a rios de formação detritica e bem misturados. O modelo considera que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão sejam significativos apenas ao longo da direção do fluxo, isto é, no eixo longitudinal do canal. Sua versatilidade leva a uma estruturação que possibilita a localização de afluentes e/ou efluentes do rio principal, descargas pontuais, distribuições laterais de vazões, drenagem superficial, lençóis subterrâneos, além de outras características.

O QUAL-2E é um modelo permanente no que diz respeito às vazões e cargas afluentes, podendo no entanto, ser operado dinamicamente para estudos de variações nos dados meteorológicos e suas implicações nos indicadores de qualidade de água, sendo um dos modelos mais utilizados no mundo e preconizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados

Unidos da América (USEPA) nos estudos de alocação de fontes pontuais de poluição.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido em um trecho do rio Pardo, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Pardo, no município de Ribeirão Preto, S.P, envolvendo alguns municípios adjacentes. A área da região em estudo corresponde a 2.484km² compreendida entre as coordenadas 47°30'mE, 48°10'mE, 20°45'mN e 21°45'mN (figuras 4.1 e 4.2).

O rio Pardo, cujas nascentes se localizam em Minas Gerais e que recebe pela margem esquerda a significativa contribuição do rio Mojiguaçu, é o afluente mais importante da margem esquerda do rio Grande. No Estado de São Paulo percorre 420km, 120 dos quais após receber o rio Mojiguaçu.

Essa região é dominada em sua grande parte por um clima úmido subtropical, com estiagem no inverno, a pluviosidade média gira em torno de 1.400 mm/ano, podendo alcançar até mais de 2.000 mm. A temperatura média do mês mais quente, que é janeiro, gira em torno de 30 °C e a do mês mais frio oscila em torno de 13 °C.

Conforme OLIVEIRA e PRADO (1987), os relevos predominantes são o ondulado e o suave ondulado, representados por uma sucessão de morros de topo subaplainados ou arredondados com longas vertentes, além de pequenos testemunhos tabuliformes, quer ao norte, quer ao sul da plataforma interfluvial.

As vegetações primitivas são a mata tropical latifoliada e os cerradões nos solos argilosos, bem drenados e profundos, e os cerrados e cerradões nos solos arenosos ou de textura média. Nas planícies aluvionais, predominavam a mata ciliar, nas áreas de melhor drenagem, e os campos higrófilos nas áreas mal drenadas. Grande parte dessa vegetação foi substituída por extensas plantações de cana-de-açúcar, hoje predominantes

Predomina nessa região o Latossolo Roxo eutrófico (Lre) e distrófico (LRd) que pode ser caracterizado por uma textura argilosa ou muito argilosa

e relevo suave. Estes solos são resultantes do intemperismo de rochas básicas, basaltos e diabásios. Apresentam, além das características inerentes aos latossolos, elevados teores de ferro totais e de titânio. Também pode aparecer com menor frequência o Latossolo Vermelho amarelo (Lva) com textura média e relevo suave ondulado e ainda solos Hidromórficos (HI) com textura média/argilosa e relevo plano, margeando os rios.

O comportamento hidrológico dos rios desta bacia está em estreita relação com o regime pluviométrico. Apresentam também uma série de quedas d'água, devido a disposição das camadas de arenitos e dos estratos de basalto, oferecendo grandes chances em potencial energético, conforme comprova a existência de complexos hidroelétricos já instalados e usinas projetadas.

Na bacia do rio Pardo a captação de água é tanto de superfície como subterrânea. Esse rio atravessa região essencialmente agrícola, embora indústrias de grande porte localizem-se em sua bacia, especialmente as do ramo alimentício entre usinas de açúcar e álcool, engenhos, curtumes, papel e metalúrgico. É caracterizada pela ausência de tratamento de esgoto na maioria de seus municípios.

Os usos do solo da bacia do rio Pardo são destinados às atividades agrícola, pastoril, avícola, industrial e urbana.

Os usos predominantes da água são:

- ◆ abastecimento público de 29 municípios, sendo que 12 se utilizam de mananciais superficiais, 4 de mananciais subterrâneos e 13 com sistema misto;

- ◆ recepção de efluentes domésticos;

- ◆ abastecimento industrial;

- ◆ recepção de efluentes industriais;

- ◆ irrigação de plantações.

A maioria das culturas presentes nesta bacia, à exceção do milho, demandam altas taxas de aplicação de defensivos e fertilizantes, o que pode comprometer a qualidade, tanto dos cursos d'água, como das áreas de

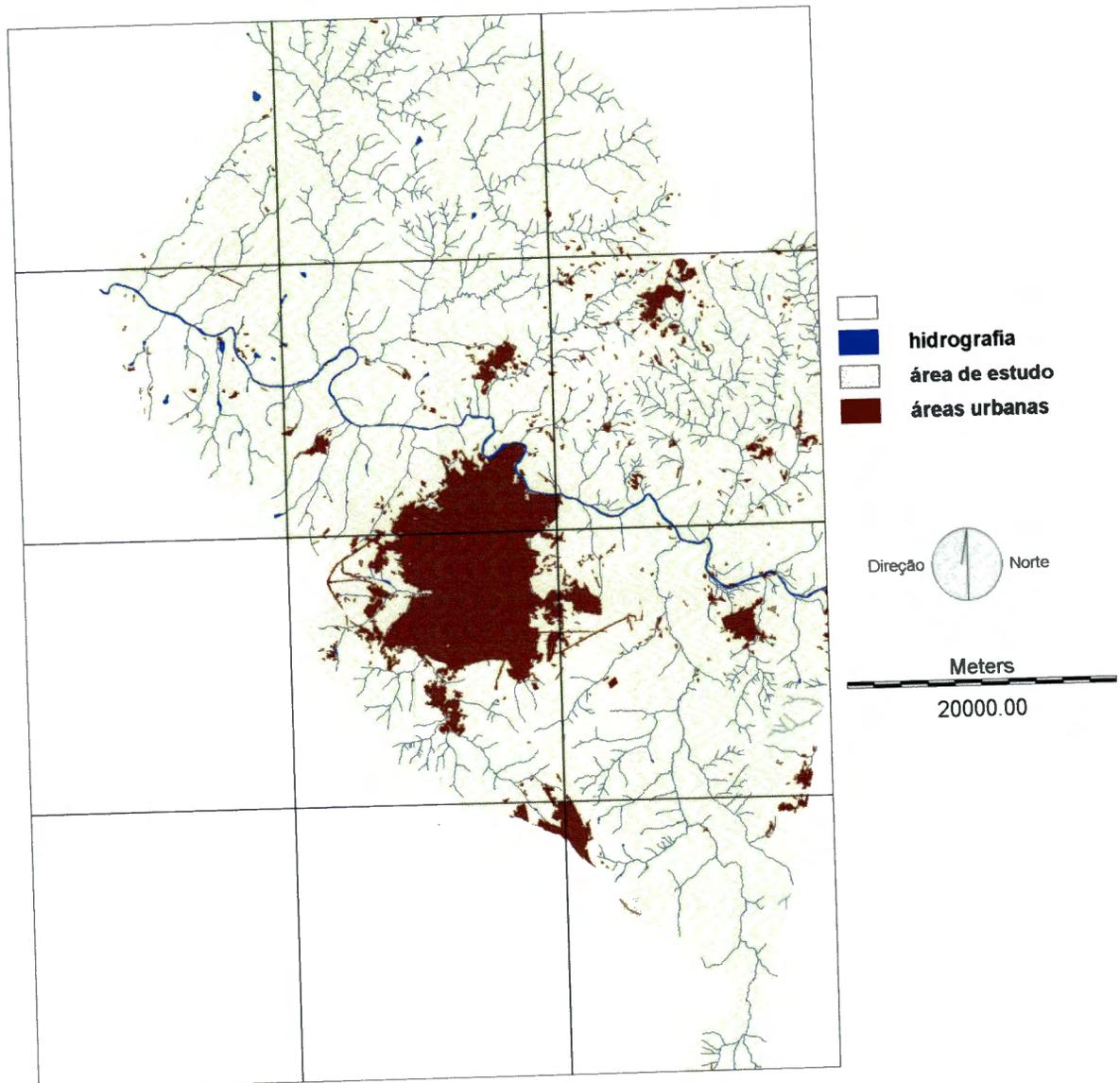
recarga do aquífero Botucatu-Pirambóia, aflorante no trecho da Depressão Periférica.

Escolheu-se essa região para a realização do presente estudo por ser caracterizada por grande crescimento populacional, elevado índice de industrialização, além de ser uma área de monocultura intensiva de cana-de-açúcar aplicando agrotóxicos e vinhaça ao solo, desmatando matas nativas entre outros danos ambientais. Portanto, é uma região que vem sendo bastante degradada, onde a qualidade da água precisa ser avaliada para solucionar os problemas atuais e prever problemas futuros.



Figura 4.1: Localização da bacia hidrográfica do rio Pardo no Estado de São Paulo.

Fonte: DAEE



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 4.2: Mapa da área de estudo demonstrando a hidrografia e localização das cidades.

4.2 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

A metodologia do presente trabalho, juntamente com os materiais utilizados, será apresentada dividida em fases para melhor compreensão.

A figura 4.3 apresenta a metodologia aplicada de forma resumida que posteriormente será descrita com maiores detalhes.

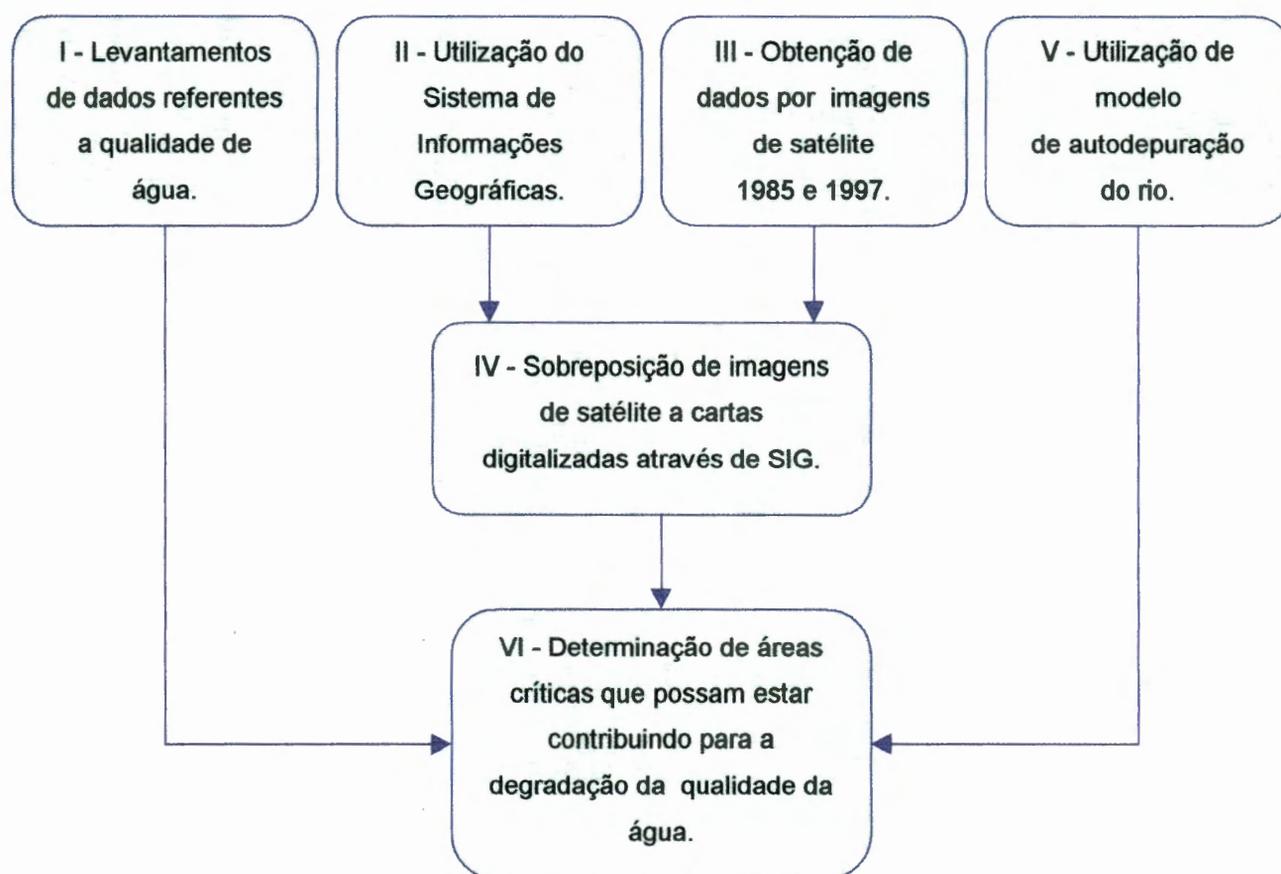


Figura 4.3: Resumo da metodologia.

FASE I ⇒ Levantamento de dados referentes à qualidade de água do Médio Pardo

Os dados relativos à qualidade das águas superficiais foram obtidos nos relatórios de águas superficiais do interior do Estado de São Paulo, elaborados pela CETESB e por meio de outros estudos realizados pela mesma. Alguns desses dados referem-se aos parâmetros de qualidade de

água: Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total, Fósforo Total, número mais provável (NMP) de Coliformes Totais, número mais provável (NMP) de Coliformes Fecais nos pontos de coleta da CETESB no trecho em estudo: PD2040 e PD2060 (figura 4.4). Após a obtenção dos dados citados acima, para os dois pontos de coleta da CETESB (figura 4.4) e para cada parâmetro, foram construídas tabelas comparando-se os valores em função do tempo visando melhor observar a evolução da degradação da qualidade da água do rio Pardo.

◆ **Ponto 2040:** Ponte da Rodovia Ribeirão Preto - Batatais, km 184, junto ao posto 4C-1 do DAEE, na margem esquerda do Clube Regatas Ribeirão Preto. Este ponto foi considerado como controle devido à sua localização a montante de Ribeirão Preto, centro urbano que contribui com a poluição do rio Pardo devido ao lançamento de grandes quantidades de cargas industriais, domésticas e resíduos agrícolas (figura 4.5).

Ao visitar esse ponto pode-se observar a presença de mata ciliar muito estreita, sendo que o cultivo de cana-de-açúcar atinge as proximidades do rio.

◆ **Ponto 2060:** Ponte na estrada Pontal - Morro Agudo a montante da afluição do rio Mojiguaçu, no município de Pontal e a jusante de Ribeirão Preto, portanto contendo a carga poluidora lançada pelas cidades de montante (figura 4.6).

Em campo observou-se também neste ponto a ausência de mata ciliar, presença de eucalipto margeando o rio, plantação de cana-de-açúcar e amendoim, margeando-o. Este ponto, como se situa a jusante de Ribeirão Preto, tem a contribuição do esgoto desta cidade e demais cidades a montante.

A contribuição de esgotos sanitários foi estimada com base no histórico da população urbana (Censos Demográficos do IBGE 1970, 1980, 1985, 1991 e 1996) e a contribuição industrial estimada com base nos dados fornecidos pela CETESB e outras companhias de água e esgoto, considerando-se sempre dados evolutivos.

Dados relativos ao número populacional dos municípios que lançam carga de poluentes no trecho do rio em estudo, foram obtidos no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Com esses dados e sabendo-se a quantidade de P e N produzidos em um dia por cada habitante pode-se calcular a carga anual de fósforo e nitrogênio, provindos do esgoto doméstico, que atinge o rio Pardo. Portanto, foram traçados gráficos representando o crescimento populacional rural e urbano, no período de 1970 a 1996. Também foram demonstradas por meio de gráficos as cargas de fósforo e nitrogênio lançadas no rio ao longo do tempo.

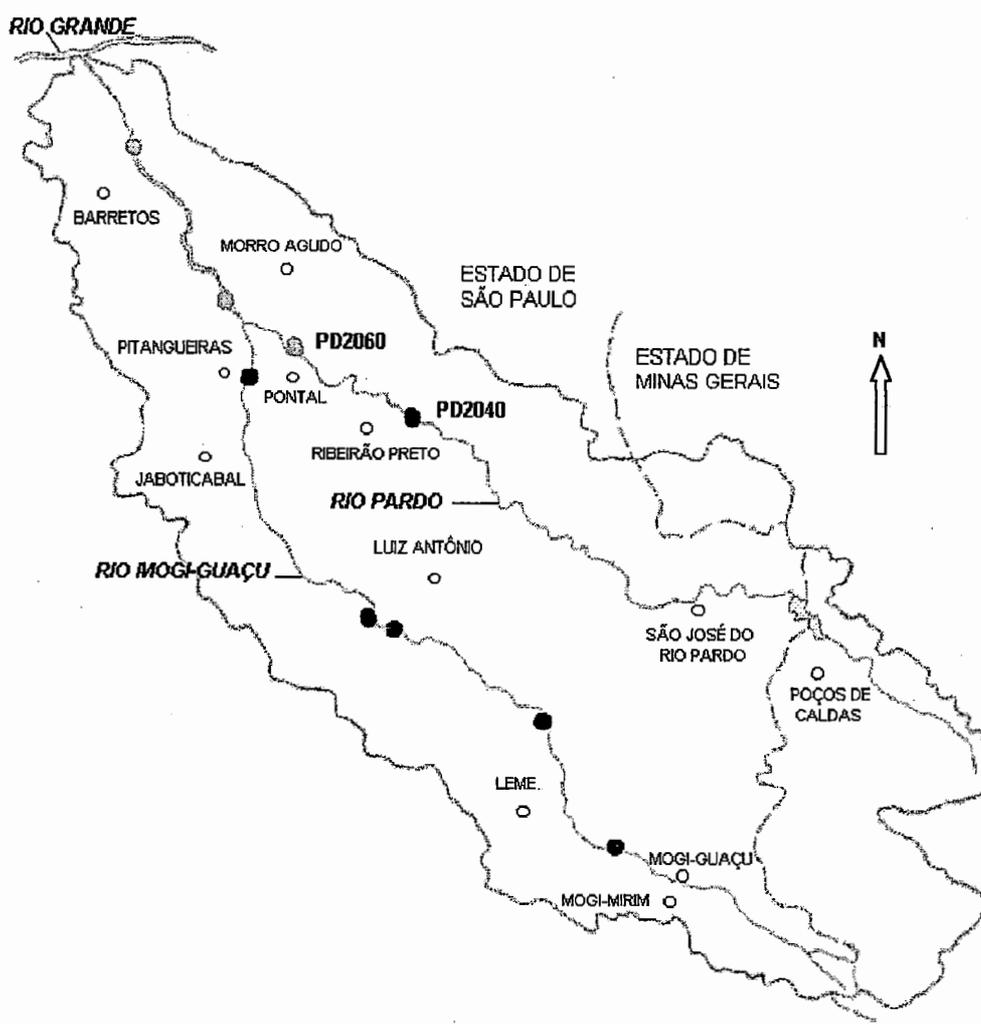


Figura 4.4: Localização dos pontos de coleta da CETESB no rio Pardo pertencentes à área de estudo: PD2040 e PD2060.

Fonte: Adaptado de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – CETESB.



Figura 4.5: Vista panorâmica do ponto de monitoramento da CETESB no rio Pardo (PD2040).



Figura 4.6: Vista panorâmica do ponto de monitoramento da CETESB no rio Pardo (PD2060).

Por meio do MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE (1995) foram obtidas informações a respeito das questões sócio-ambientais regionais do Médio Pardo, tais como, evolução da participação dos segmentos agrícolas, área cultivada de cana-de-açúcar, número e produção das usinas de açúcar e destilarias de álcool, evolução e participação percentual da produção de cana-de-açúcar, industrialização, perda de solo por erosão, evolução da supressão da cobertura vegetal no Estado de São Paulo, demanda de água (vazão captada por tipo de manancial), sistema de abastecimento de água, principais consumidores industriais de água do rio Pardo, principais indústrias poluidoras, carga orgânica industrial, resíduos sólidos domésticos e industriais, resíduos perigosos e disponibilidade hídrica superficial.

Os dados referentes aos insumos agrícolas foram obtidos no EDR (Escritório de Desenvolvimento Rural) de Ribeirão Preto e por consulta às referências bibliográficas indicadas no mesmo escritório. Pode-se citar o tipo de uso e ocupação do solo, tipo e quantidade de agrotóxicos mais utilizados na cultura de cana-de-açúcar (predominante na área), persistência, degradação, deslocamento, dosagem, dentre outros.

FASE II ⇒ Utilização do Sistema de Informação Geográfica

Esta fase relaciona-se à aplicação de um instrumento importante na obtenção de dados intervinientes na qualidade da água que é o Sistema de Informação Geográfica.

Ao iniciar um trabalho utilizand-se SIG, primeiramente, é importante fazer um levantamento dos mapas necessários ao estudo e verificar sua disponibilidade. No presente caso, foram utilizados os seguintes materiais cartográficos, obtidos em instituições públicas:

- carta planialtimétrica na escala 1:50.000, quadrículas de Ribeirão Preto, Serrana, Cravinhos, Bonfim Paulista, Sales de Oliveira, Foz do Mojiguaçu, Batatais, Pitangueiras e Guariba, obtidos no IBGE, escritórios de São Paulo e São Carlos.

- carta pedológica na escala 1:500.000 cedido pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) - USP.

- mapa de classes de suscetibilidade à erosão na escala 1:250.000 obtido no projeto MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOGI-PARDO E MÉDIO GRANDE (1995), cuja fonte é o RELATÓRIO 28.184 (1990) - Orientações para o Combate à Erosão no Estado de São Paulo, Bacia Pardo Grande, DAEE/IPT.

Após obtenção dos mapas, fase de treinamento e adaptação ao trabalho, iniciou-se a digitalização dos mesmos, utilizando-se mesa digitalizadora Summagraphics Summagrid IV, formato A1, e o *software* TOSCA 2.12, por meio dos quais se transforma-se os dados contidos nos mapas em formato *vector*. O sistema de coordenadas utilizado foi UTM⁶. As coordenadas que delimitam a área de estudo em UTM são: 176.000 mE, 236.000 mE, 7.620.000 mN e 7.698.000 mN.

As cartas planialtimétricas foram utilizados para digitalização de curvas de nível e hidrografia. Algumas quadriculas foram digitalizadas por CERUCCI (1998) como as de Ribeirão Preto, Serrana, Bonfim Paulista e Cravinhos.

A etapa seguinte à digitalização foi a edição das imagens *vector*, ainda no TOSCA, utilizando os recursos do mesmo para tratar as imagens e corrigir possíveis erros. As mesmas foram transformadas em *raster* (*pixel* 30x30m) utilizando o *software* IDRISI 2.0 for WINDOWS, desenvolvido pela Clark University, Massachussets. Na rasterização foram utilizadas 2.000 colunas e 2.600 linhas para se obter o tamanho do *pixel* desejado, utilizando-se as opções LINERAS, POINTRAS e POLYRAS do módulo REFORMAT.

Ainda para a declividade, a partir das curvas de nível digitalizadas como pontos, arcos e linhas, fez-se a rasterização utilizando-se os módulos REFORMAT e INITIAL do IDRISI e, posteriormente, o Modelo Digital de

⁶ Essas coordenadas formam um quadriculado com linhas equidistantes, cujas medidas são números inteiros expressos em metros. O sistema UTM está relacionado à Projeção Universal Transversa de Mercator, de onde advém o seu nome (SANTOS, 1986).

Terreno (MDT), utilizando-se o módulo INTERCON. A próxima etapa foi a aplicação do módulo FILTER para melhorar a imagem obtida. Aplicando-se o módulo SURFACE/SLOPE obteve-se a carta de declividade que foi reclassificada pelo módulo RECLASS, em cinco classes de declividade determinadas com o auxílio do módulo HISTO e baseando-se em RANIERI (1996), ALVES (1997) e PAVESI (1998): 0-2%, 2-5%, 5-10%, 10-20% e >20%.

Quanto à hidrografia, a digitalização foi feita como arcos e polígonos, atribuindo identificadores específicos para cada tipo de curso d'água. A rasterização também foi realizada com o auxílio do IDRISI, utilizando-se os módulos REFORMAT e INITIAL.

A carta pedológica obtida estava escaneada e portanto foi feito um trabalho de georreferenciamento utilizando-se as cartas planaltimétricas 1:50.000 do IBGE como referência para diminuir o RMS⁷ (*Root Mean Square*) na entrada das coordenadas no CARTALINX (este *software* foi instalado no laboratório onde se desenvolveu a pesquisa, posteriormente ao TOSCA e foi utilizado devido à sua praticidade). Após a digitalização como polígonos, foi feita a rasterização no IDRISI utilizando-se a opção POLYRAS do módulo REFORMAT. As classes de solos obtidas foram: solos hidromórficos, latossolos (roxo, vermelho, amarelo e intermediários), areia quartzosa e litossolos.

Como esta carta foi encontrada somente em escala 1:500.000, foi realizado um trabalho de comparação de escalas para verificar a diferença de detalhamento de uma escala maior para uma menor. Para tanto, foi utilizada a carta pedológica 1:100.000 digitalizada por FONTES (1997), cujas coordenadas 190.000mE, 226.000mE, 7634.000mN e 7670.000mN delimitam uma área pertencente a região de estudo. Uma área equivalente

⁷O RMS indica a quantidade de erro associado com a translação das coordenadas do mapa para as coordenadas digitalizadas. Pode ser calculado por:

$RMS = \beta \times \text{escala} \times 0,0254 / 1,64$ (em metros) onde $\beta = 1 / 30$ para escalas menores ou iguais a 1:20.000 e $\beta = 1 / 50$ para escalas maiores que 1:20.000.

foi recortada, através do módulo WINDOW, da carta pedológica 1:500.000 digitalizada.

Segundo RELATÓRIO N° 28.184 do IPT(1990), para a confecção do mapa de classes de suscetibilidade à erosão, baseou-se na análise integrada da paisagem, ponderando-se o comportamento das águas com relação ao substrato geológico, relevo e cobertura pedológica, considerando-se o uso e ocupação do solo.

A análise integrada desses fatores, obtida através da sobreposição das cartas básicas em escala 1:250.000 e ponderação da influência relativa de cada fator, permitiu a discriminação de três classes de suscetibilidade (alta, média, baixa) e solos hidromórficos, constituindo no mapa preliminar de suscetibilidade à erosão por ravinas e boçorocas.

Para o cálculo da contribuição por fontes dispersas, que atinge o trecho do rio em estudo, foi necessária a delimitação da bacia e sub-bacias, as quais foram digitalizadas no TOSCA 2.12 na forma de polígono, orientando-se pelos divisores de água na carta planaltimétrica do IBGE, na escala 1:50.000, atribuindo-se identificadores diferentes para cada sub-bacia e posteriormente feita a rasterização descrita anteriormente.

FASE III ⇒ Utilização de imagens de satélite

Imagens de uso e ocupação do solo, necessárias ao presente estudo, foram adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados digitais foram obtidos pelo satélite LANDSAT 5, sensor Thematic Mapper (TM), base 220, ponto 75, bandas 3,4 e 5, de 20/04/1985 e 08/06/1997. O tamanho do *pixel* utilizado foi 30x30m para que fosse possível a sobreposição com cartas digitalizadas através do SIG.

As imagens de satélite não têm uma referência coincidente com a das cartas do IBGE. Elas apresentam-se distorcidas tanto geometricamente quanto radiometricamente e, portanto, torna-se necessário corrigi-las durante as fases do processamento digital.

Para o georreferenciamento, é feita uma translação da imagem de forma a ajustá-la a algum sistema de projeção cartográfica, no caso UTM (considerando-se o *Datum*, meridiano central entre outros). Isto é feito para que a imagem possa representar mais fielmente a região em estudo e também para que haja a possibilidade de sobreposição de outros dados, havendo coincidência geográfica entre ambos.

O georreferenciamento foi feito baseando-se nas cartas planaltimétricas do IBGE, 1:50.000. Para tal foi utilizada uma mesa digitalizadora calibrada ao *software* SPRING (INPE). O trabalho é realizado assumindo-se que coordenadas (x,y) da mesa representam coordenadas geográficas em UTM.

Procura-se então, na imagem de satélite, pontos notáveis coincidentes a pontos também facilmente visíveis nas cartas. Com o auxílio do *mouse* assinala-se na imagem os pontos coincidentes supracitados, indicando que um determinado *pixel* corresponde a determinada coordenada em UTM.

Para maior precisão do trabalho é importante selecionar um número razoável de pontos de controle dispostos ao longo da imagem. Neste caso foram escolhidos dez pontos, adotando-se sempre um erro médio quadrático nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste, inferior ao tamanho de um *pixel* (30m) para LANDSAT/TM, como recomendado pela literatura (CHUVIECO, 1990; NOVO, 1992).

Posteriormente ao georreferenciamento, foi feita a composição colorida das bandas 3, 4 e 5 através do sistema RGB (*Red, Green, Blue*). Este padrão de composição tem sido bastante utilizado por diversos autores segundo BARGUIL (1998).

Para classificação das imagens o método utilizado foi o supervisionado por regiões, com o auxílio de verificação terrestre. Este trabalho foi realizado com o auxílio do GPS (*Global Positioning System*) tomando-se algumas áreas dispersas como amostragem, observando-se o tipo de uso e ocupação do solo, entre outras características da área e registrando as coordenadas em dezoito pontos.

Também foram fotografadas algumas áreas relevantes que estavam sob suspeitas de terem sido confundidas no momento da classificação. As fotos foram numeradas e juntamente com as características obtidas acima, enviadas a um profissional do INPE para uma reclassificação das imagens, aproximando-as da realidade. As classes obtidas foram: reflorestamento (*Pinus* e *Eucaliptus*), vegetação natural, campo, cana-de-açúcar, área urbana, área de propriedades rurais, solo exposto, hidrografia e queimada. Na imagem de 1985 apareceu também uma classe para nuvem e outra para sombra de nuvem.

Após reclassificação, as imagens em formato digital foram convertidas em um padrão reconhecido pelo IDRISI para que pudessem ser utilizadas pelo mesmo na sobreposição de dados.

As imagens de 1985 e 1997, já processadas, foram analisadas e com o auxílio do módulo RECLASS foram feitas pequenas modificações na classificação porque observou-se que a área urbana na realidade correspondia ao que estava indicado como área urbana e rural. Também mudou-se a paleta para melhor visualização das classes, além do uso do módulo GROUP para tornar as áreas urbanas homogêneas.

Ambas as imagens, com suas respectivas classes, foram utilizadas no cálculo de áreas para comparação entre elas e observação da expansão ou redução das classes que possam estar interferindo na qualidade da água. Para tal, foi necessário fazer uma máscara das áreas cobertas por nuvens e sombra de nuvens na imagem de 1985, sobrepondo-a à de 1997, para que o cálculo de áreas ficasse correto.

FASE IV ⇒ Sobreposição de imagens de satélite a cartas digitalizadas utilizando-se SIG.

A sobreposição de cartas pelo IDRISI foi feita utilizando-se o módulo OVERLAY. Este módulo oferece nove alternativas sendo as mais utilizadas:

multiplicação, adição e sobreposição da primeira imagem a segunda, menos o que é zero.

Outro módulo também bastante utilizado foi o CROSSTAB que possibilita a visualização do processo evolutivo ao sobrepor duas imagens de épocas diferentes. Desse modo, forma-se uma imagem demonstrando a situação de ambas e a transformação de uma classe anterior para uma atual, além dos identificadores da legenda demonstrarem essa transformação.

A hidrografia da área em estudo foi sobreposta a todos os mapas, considerando-se a sua importância na análise dos mesmos, já que o objetivo do trabalho foi estudar a qualidade da água do rio Pardo.

Para sobrepor as imagens de 1985 e 1997 foi utilizado o módulo CROSSTAB e após algumas reclassificações obteve-se o mapa de Uso e Ocupação do Solo, representando as situações de 1985 e 1997, concomitantemente. Pode-se ressaltar neste mapa a expansão urbana, expansão da cana-de-açúcar e redução da vegetação natural.

Para melhor visualizar as características de forma evolutiva, as mesmas foram isoladas e sobrepostas, obtendo-se assim um mapa para expansão urbana, um para expansão da cana-de-açúcar e um para redução de vegetação natural.

Como a monocultura de cana-de-açúcar predomina na região, optou-se por compor um mapa demonstrando a sua distribuição relacionando-a à pedologia. Para tanto, foi feita uma sobreposição utilizando-se o mapa de pedologia e o mapa da cana-de-açúcar em 1997, podendo-se observar o cultivo desta até mesmo em solos hidromórficos que será discutido no capítulo 5.

FASE V ⇒ Aplicação do Modelo de Autodepuração

Para determinar a quantidade de nutrientes provenientes de fontes pontuais e difusas que entra e sai no trecho do rio em estudo, torna-se necessária a aplicação de um modelo matemático .

O modelo escolhido foi o QUAL2E , baseado nas equações de "STREETER-PHELPS", propostas em 1925, supondo que o escoamento ocorra em regime permanente e uniforme, que os efeitos decorrentes da dispersão longitudinal sejam desprezíveis, e que ocorra uma descarga contínua e constante de poluente biodegradável, de forma que não exista qualquer variação temporal no fenômeno (EIGER, 1991).

Esse modelo foi escolhido devido a sua freqüente aplicação em trabalhos científicos que envolvem a determinação da capacidade autodepuradora de cursos d'água superficiais. Trata-se de um modelo simples e eficiente, capaz de atender aos objetivos do trabalho, que utiliza valores médios mensais.

O modelo avalia a capacidade de assimilação de cargas orgânicas do rio Pardo, considerando-se os valores dos parâmetros de qualidade de água nos pontos de coleta da CETESB (PD2040 e PD2060) e os dados de vazões obtidos no BANCO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO /ANEEL (1997) para os anos de 1985 e 1997.

Quanto aos postos fluviométricos do ANEEL na área em estudo, pode-se dizer que são dois: Desengano e Parque Ribeirão Preto, cujos códigos são 61850000 e 61840000 e se localizam no município de Pontal e Ribeirão Preto, coincidindo com os pontos de coleta da CETESB PD2060 e PD2040, respectivamente.

Para que fosse exeqüível esta fase, o trecho do rio em estudo foi dividido em oito subtrechos, abrangendo a extensão do rio que vai do ponto PD2040 ao PD2060, equivalente a 48,73km. Para tal, foi feito um mapa digitalizando-se o contorno da bacia hidrográfica e as sub-bacias, baseando-se nos divisores de água e curvas de nível. A esse mapa foi sobreposto o

mapa de hidrografia, constituindo assim o mapa das sub-bacias da região estudada.

A divisão em subtrechos foi feita para uma maior aproximação com a realidade, considerando-se que as características físicas das sub-bacias diferem entre si, bem como a forma de utilização do solo pode resultar em cargas diferentes em cada subtrecho, além dos valores dos parâmetros utilizados no modelo, como a vazão, se alterarem ao longo do curso d'água.

Com aplicação do módulo AREA do IDRISI, foram calculadas as áreas das sub-bacias e também o comprimento dos subtrechos do rio Pardo, dados que foram utilizados na aplicação do modelo.

Para efeito de cálculo foi considerada a vazão média mensal dos anos de 1985 e 1997. A vazão de contribuição de cada trecho foi calculada com base na vazão específica da bacia ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$), considerando-se a área de drenagem da mesma e dos dados fluviométricos dos postos do ANEEL supracitados.

Foram consideradas as cargas pontuais provenientes do esgoto sanitário e efluentes industriais das cidades de Ribeirão Preto e Cravinhos, que são lançados no subtrecho III pelo afluente Ribeirão Preto, responsável pela maior contribuição no trecho em estudo. As contribuições das outras cidades não foram consideradas pontualmente no modelo.

Para estimar a contribuição por fontes difusas foi considerada a capacidade de autodepuração da carga de origem sanitária e industrial no trecho em estudo.

Portanto, conhecendo os valores de alguns parâmetros de qualidade de água no ponto 2040, a carga autodepurada ao longo do trecho e a carga no ponto 2060, pode-se inferir que a diferença encontrada atingiu o curso d'água por fontes difusas, incluindo também a fixação pela fotossíntese, pois os dados disponíveis não são suficientes para atingir grau de refinamento que possibilite subtrair a biomassa gerada por fotossíntese.

O modelo considera que o decaimento dos poluentes segue reação de primeira ordem e possibilita realizar o cálculo em trechos, sendo que o efluente de um trecho é o afluente do trecho seguinte.

FASE VI ⇒ Determinação de áreas críticas que possam estar contribuindo para a degradação da qualidade da água

Com base nas informações obtidas nas fases anteriores foram elaborados mapas síntese indicando áreas críticas que possam estar contribuindo para a degradação da qualidade da água no trecho estudado.

Utilizando-se os mapas de hidrografia, pedologia, declividade e a imagem de satélite de 1997 e por meio da sobreposição dos mesmos e reclassificações, foram feitos mapas indicando a criticidade das áreas relacionadas à degradação da qualidade da água do rio Pardo no trecho em estudo. Os fatores considerados na determinação da criticidade foram: declividade, pedologia e uso e ocupação do solo que podem contribuir, dependendo do tipo, com o processo erosivo, escoamento superficial e conseqüentemente para o aumento do aporte de nutrientes que atinge os cursos d'água.

O primeiro mapa síntese (CRITICIDADE1) foi construído atribuindo pesos iguais aos fatores declividade, pedologia e uso e ocupação do solo, porém, atribuindo notas diferentes (MA, A, M, B, MB)⁸ quando se relaciona as classes de cada fator entre si.

Para construção do mapa síntese CRITICIDADE1, primeiramente, foram sobrepostos os mapas de declividade e pedologia através do módulo CROSSTAB, obtendo-se o mapa CROSS. Na seqüência, tomando a imagem de satélite de 1997 fez-se reclassificações com o objetivo de obter um mapa para cada tipo de uso e ocupação do solo. Esses mapas são: FLORE para vegetação natural e reflorestamento, CAMPO para campos, CANA para cana-de-açúcar e EXPOSTO para solos expostos. Cada um desses mapas foram cruzados com o CROSS descrito acima, dando origem aos mapas CROSS1 (CROSS e FLORE), CROSS2 (CROSS e CAMPO), CROSS3 (CROSS e CANA) e CROSS4 (CROSS e EXPOSTO).

Posteriormente, o módulo OVERLAY foi utilizado para somar os mapas CROSS1, CROSS2, CROSS3 e CROSS4 resultando, dessa forma,

⁸ MA = Muito Alta A = Alta M = Média B = Baixa MB = Muito Baixa

no mapa CRÍTICO, ao qual foram sobrepostos os mapas de hidrografia e máscara das áreas urbanas em 1997, resultando no mapa CRITICIDADE 1 como demonstrado na figura 4.7.

Para construção do mapa síntese CRITICIDADE 2 também considerou-se pedologia, declividade e uso e ocupação do solo com pesos iguais e notas diferentes para cada classe dentro de cada fator. O módulo OVERLAY de soma foi o recurso utilizado para sobrepor os mapas. Obteve-se, desta maneira, treze identificadores que foram agrupados em cinco classes MB, B, M, A, MA no mapa CRÍTICO A. Sobrepos-se a este o mapa HIDROGRAFIA e CIDADES de 1997 obtendo-se o mapa CRITICIDADE 2 como apresentado na figura 4.8.

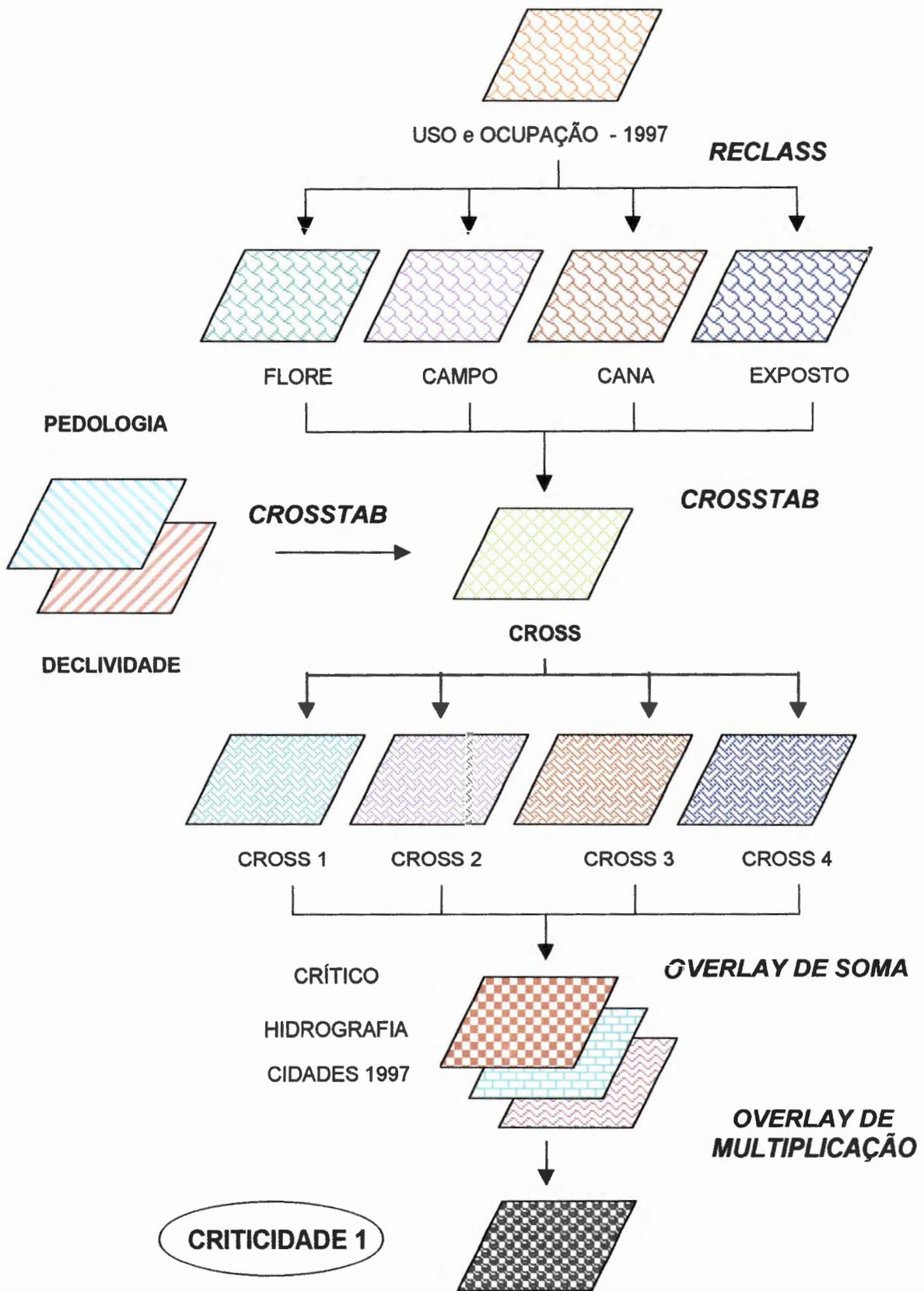


Figura 4.7: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 1 (Declividade = Pedologia = Uso e Ocupação do Solo).

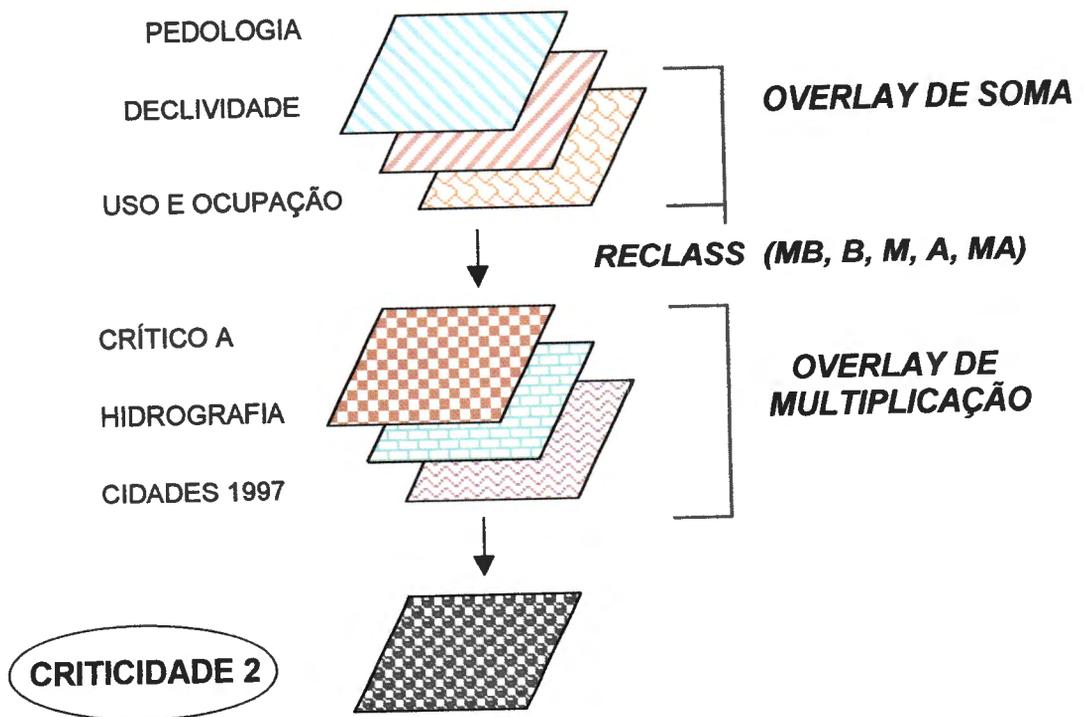


Figura 4.8: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 2 (Declividade = Pedologia = Uso e Ocupação do Solo).

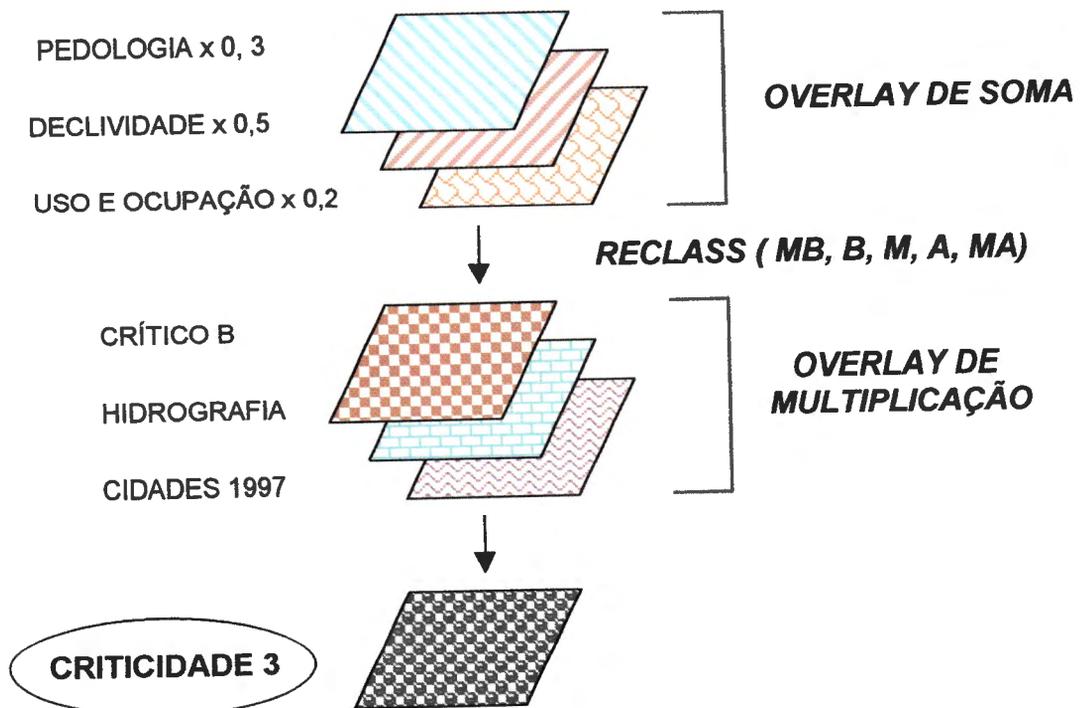


Figura 4.9: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 3 (Declividade > Pedologia > Uso e Ocupação do Solo).

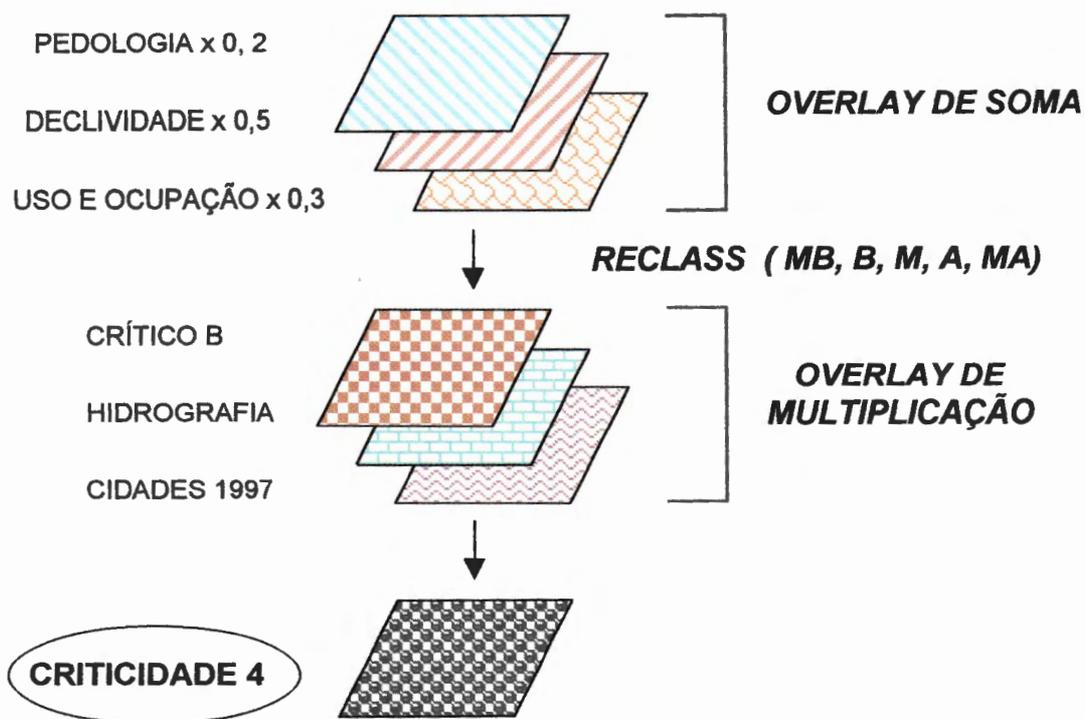


Figura 4.10: Metodologia utilizada para a confecção do mapa síntese CRITICIDADE 4 (Declividade > Uso e Ocupação do Solo > Pedologia).

Esse mapa representa a criticidade baseando-se nas mesmas características consideradas no CRITICIDADE 1, porém com critérios diferentes.

Para construção do mapa CRITICIDADE 3 e 4 foi utilizada a mesma metodologia do mapa CRITICIDADE 2, com diferenças na ponderação dos fatores envolvidos. No caso do mapa CRITICIDADE 3 atribuiu-se peso 0,5 para declividade, 0,3 para pedologia e 0,2 para uso e ocupação do solo sendo cada um destes mapas multiplicados por seus respectivos valores. Quanto ao mapa CRITICIDADE 4 atribuiu-se 0,5 para declividade, 0,2 para pedologia e 0,3 para uso e ocupação do solo (figuras 4.9 e 4.10).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de dados obtidos nesta pesquisa é bastante significativa e devido a este fato, os resultados bem como a discussão, serão apresentados por itens e subitens de acordo com os objetivos propostos e também com a metodologia adotada.

Para a visualização imediata e objetiva dos mesmos é interessante observar a figura 5.1. No entanto, a apresentação dos resultados, minuciosamente, pode ser observada a seguir, com a respectiva discussão.

5.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os resíduos gerados pelas atividades humanas atingem a curto, médio ou longo prazo as águas superficiais, alterando dessa forma a sua qualidade. As fontes de poluição podem ser classificadas de maneira geral em pontuais e difusas.

5.1.1 Poluição por Fontes Pontuais

A poluição causada pelos lançamentos de esgotos sanitários e industriais nos cursos d'água é denominada poluição por fontes pontuais, como citado anteriormente.

Estudos realizados pela CETESB (1993) mostraram que do total da carga poluidora orgânica remanescente na bacia do rio Pardo, 79,6% é de origem sanitária e 20,4% de origem industrial (tabela 5.1).

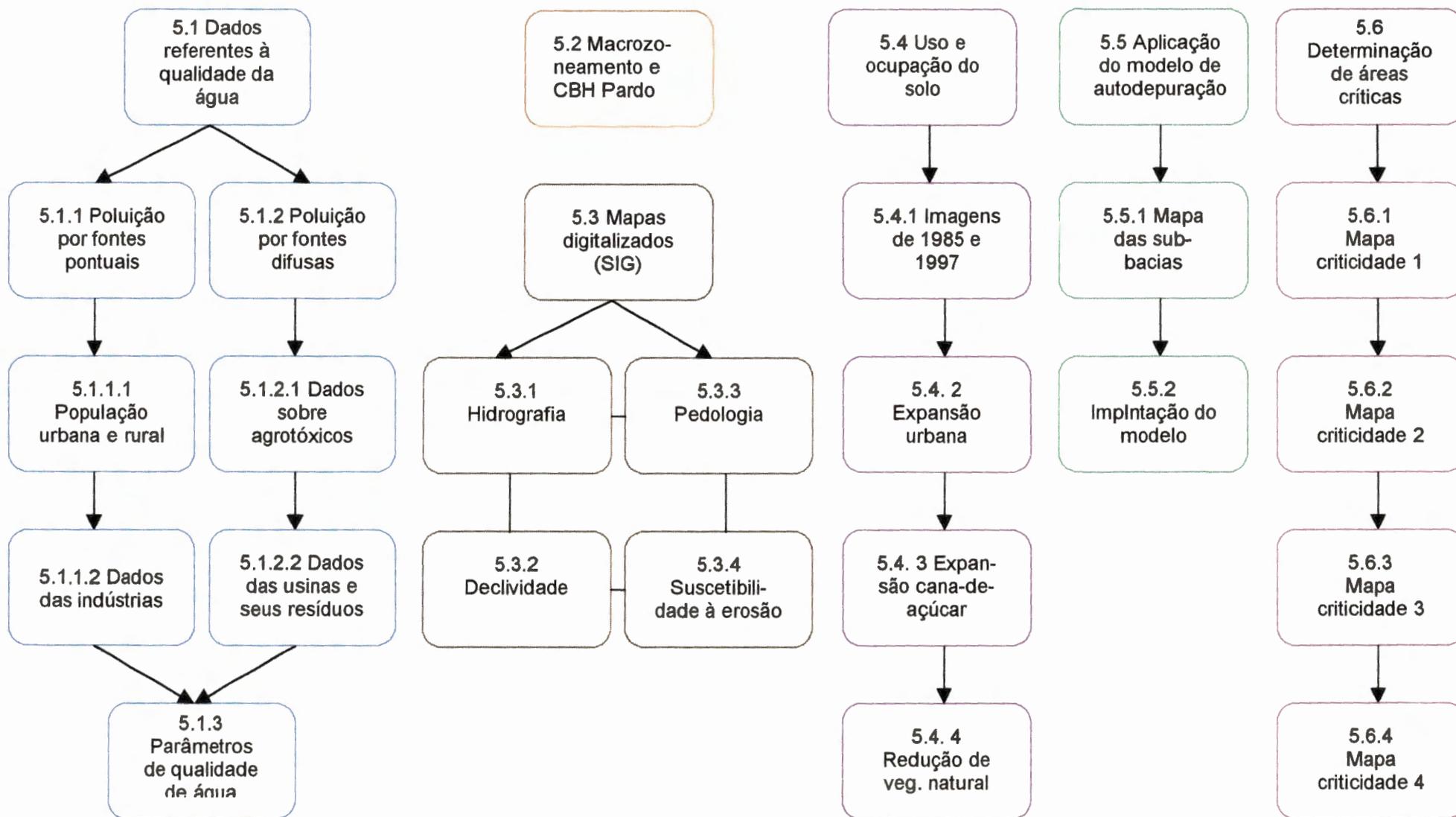


Figura 5.1: Representação dos itens e sub-itens referentes aos resultados e discussão.

Tabela 5.1: Carga poluidora orgânica – bacia do rio Pardo – SP.

TIPO DE FONTE	CARGA POTENCIAL t DBO ₅ /dia	CARGA REMANESCENTE t DBO ₅ /dia	% DE REMOÇÃO
MUNICÍPIOS	54,7	48,5	11,2
OUTRAS INDÚSTRIAS	1.265,5	12,4	99,0
IND.DO RAMO SUCRO-ÁLCOOL	732,4	0	100,0
TOTAL	2.052,6	60,9	97,0

Fonte: Relatório da CETESB 1993.

5.1.1.1 Dados da População urbana e rural do Médio Pardo referentes à água

O aumento da população tem sido, ao longo das últimas décadas, motivo de interesse dos pesquisadores preocupados com a qualidade do meio natural. Subseqüente ao crescimento populacional ocorre a expansão das cidades e com ela surgem vários problemas de ordem ambiental como, por exemplo, a retirada da vegetação natural, a impermeabilização do solo, a produção exagerada de resíduos líquidos e sólidos, entre vários outros.

Para determinação das cargas orgânicas provenientes de esgotos sanitários lançadas nos rios, costuma-se utilizar o número de habitantes e a quantidade de resíduos produzidos por cada um, conforme citado na metodologia. Obteve-se, portanto, no IBGE, os dados relativos à população urbana e rural de Ribeirão Preto e municípios localizados na área de estudo, numa escala evolutiva, como mostra a tabela 5.2.

Tabela 5.2: População urbana e rural dos municípios localizados na área de estudo.

	1970		1980		1985		1991		1996	
	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R
CRAVINHOS	9.937	4.293	13.870	3.072	15.130	3.321	20.549	1.960	22.569	1.415
JARDINÓPOLIS	10.297	4.654	15.652	4.025	17.057	4.372	20.272	2.528	22.588	2.027
*RIBEIRÃO PRETO	194.712	12.323	308.345	10.151	373.066	11.538	433.151	11.799	454.124	2.128
SERRANA	6.692	2.303	12.751	1.585	15.749	1.946	22.173	987	25.694	887
TOTAL	221.638	23.573	350.618	18.833	421.002	21.177	496.145	17.274	524.975	6.457

Fonte: Censos Demográficos IBGE.

U - População Urbana

R - População Rural

* Sede e respectivos distritos: Ribeirão Preto - Bonfim Paulista e Guatapar

A partir da tabela 5.2 foi construída a figura 5.2 demonstrando a evoluo do crescimento populacional urbano e rural dos municípios pertencentes  área de estudo.

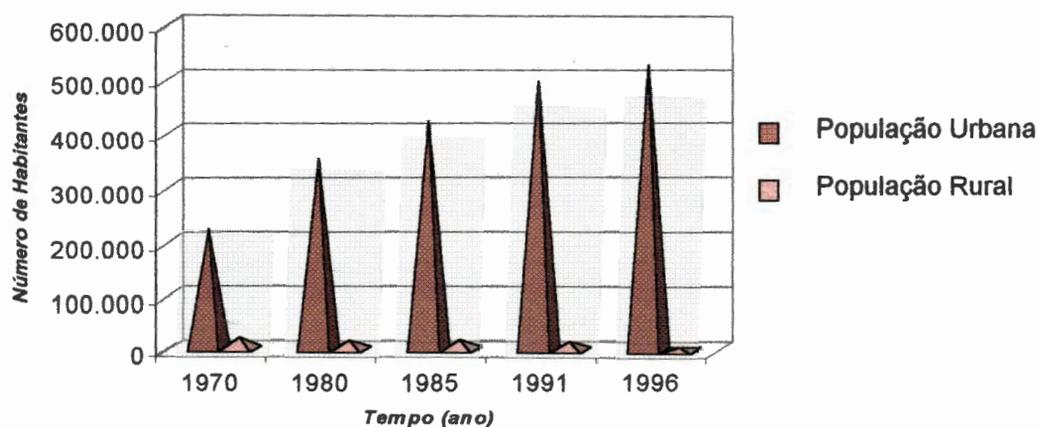


Figura 5.2: Crescimento populacional urbano e rural da região em estudo.

Verifica-se que a população urbana está aumentando ao longo dos anos enquanto a população rural apresenta decréscimo. Esse fato pode ser justificado pelo processo de industrialização e conseqüente urbanização, que ocorre principalmente no estado de São Paulo. O processo de migração para as cidades traz conseqüências drásticas de ordem econômica, social, cultural e ambiental.

Com os dados de população urbana e rural da região em estudo e sabendo-se por intermédio de ARCEIVALA (1981) que, cada habitante elimina, em média, por meio do esgoto sanitário 0,002 kg de fósforo (P) e 0,008 kg de nitrogênio (N) por dia, calculou-se a carga de ambos em cada ano lançada nos cursos d'água de acordo com as equações:

Carga anual de fósforo:

$$P_a = H \times \alpha \times 0,002 / 1000$$

P_a : quantidade de fósforo em determinado ano (ton)

H : número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

Carga anual de nitrogênio:

$$N_a = H \times \alpha \times 0,008 / 1000$$

N_a : quantidade de nitrogênio em determinado ano (ton)

H: número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

Na tabela 5.3 estão apresentadas as cargas de fósforo e nitrogênio, nos anos base de estudo.

Tabela 5.3: Carga anual de fósforo e nitrogênio estimada com base nos dados censitários do IBGE.

Ano	População Total	Carga (t/ano)				
		Fósforo	Nitrogênio			
1970	245.211	179	716			
1980	369.451	270	1.079			
1985	442.179	323	1.291			
1991	513.419	375	1996	531.432	388	1.552
1996	531.432	388	1.552			

Em relação à população urbana e rural obteve-se as cargas de fósforo (figura 5.3).

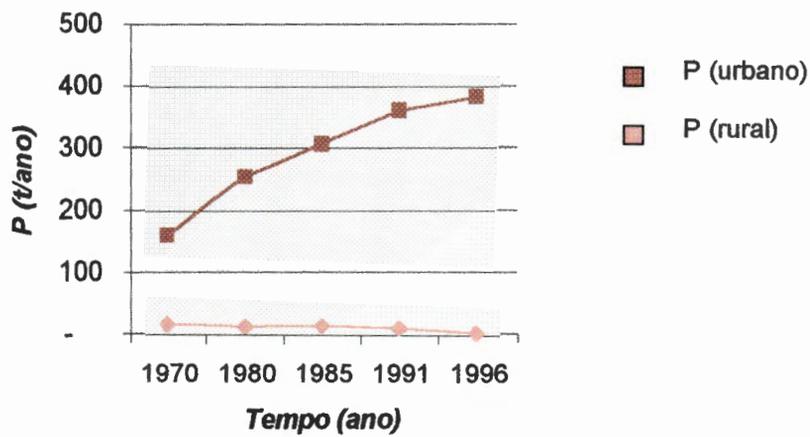


Figura 5.3: Carga de fósforo provinda do lançamento de esgoto da população rural e urbana.

Em relação à população urbana e rural obteve-se as cargas de nitrogênio (figura 5.4).

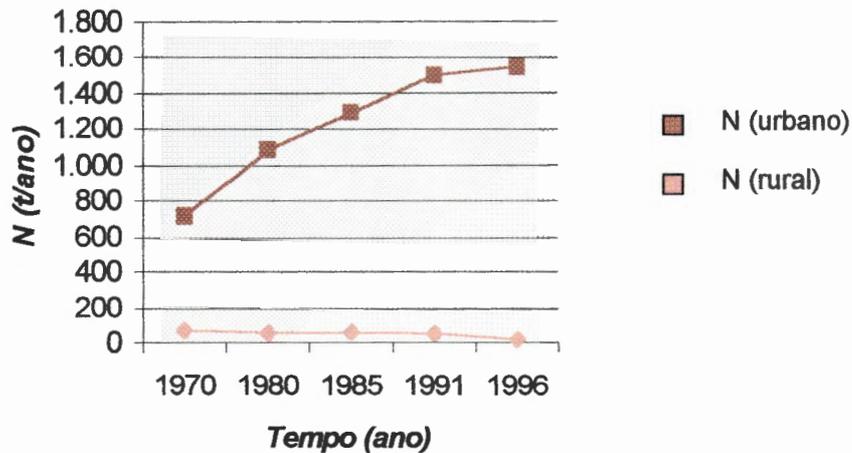


Figura 5.4: Carga de nitrogênio provida do lançamento de esgoto da população rural e urbana.

Da análise das figuras 5.3 e 5.4 observa-se o aumento da carga de fósforo e nitrogênio lançados no rio Pardo, proporcionalmente ao crescimento populacional. Naturalmente, a quantidade de nitrogênio eliminada é superior à de fósforo. Obviamente, a contribuição urbana é bem maior que a rural e nos últimos anos houve uma aceleração do processo de urbanização.

Os sólidos sedimentáveis e em suspensão representam outro indicador de alto grau poluidor, pois provoca a destruição dos ovos de peixes, alteração nas condições de reprodução no fundo dos cursos de água e morte dos peixes. Esse fato também pode ocorrer por alteração do pH da água, devido à presença de certos poluentes.

O crescimento populacional decorrente do desenvolvimento do Vale do rio Pardo vem contribuindo, diretamente, para o aumento da carga orgânica lançada na bacia, visto que quase todo o esgoto sanitário gerado é lançado em afluentes ou diretamente no rio Pardo, sem tratamento prévio.

O rio Pardo, após o recebimento das cargas orgânicas de Ribeirão Preto, apresenta baixos valores de OD com elevados valores de DBO e coliformes, como será demonstrado no item 5.1.3.

A tabela 5.4 apresenta as cargas de DBO providas do esgoto sanitário de alguns municípios do Médio Pardo.

Tabela 5.4: Cargas poluidoras provenientes dos esgotos sanitários dos municípios da bacia do Médio Pardo - 1994.

Município	Carga Poluidora (kg DBO ₅ /dia)		Corpo Receptor
	Potência (l)	Remanescente	
Ribeirão Preto	22.714	21.806	Ribeirão Preto
Serrana	1.197	1.197	Córrego Serrinha
Jardinópolis	1.136	1.136	Córrego Matadouro
Cravinhos	1.109	998	Ribeirão Preto
Brodowski	637	640	Córrego Belo Monte/Pratinha

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo, CETESB. HIDROSERVICE/SABESP.

Além dos resíduos líquidos que são lançados nos cursos d'água diariamente, pelos domicílios e indústrias em quantidades significantes, acrescenta-se ainda o lançamento de resíduos sólidos no meio. O lixo é um dos maiores problemas ambientais encontrados pela humanidade.

Na cidade de São Paulo doze mil toneladas de lixo são produzidas diariamente, portanto, tornam-se necessários estudos a respeito e a conscientização das pessoas visando a redução da quantidade de lixo produzida e do impacto que o mesmo causa ao ambiente.

A tabela 5.5 demonstra a quantidade de resíduos sólidos (t/dia) lançados na água na região do Médio Pardo.

Tabela 5.5: Resíduos sólidos - Médio Pardo - 1994.

População Urbana	Quantidade de lixo (t/dia)	Percentual (%)
582.774	291,4	29

Fonte: Adaptado do Plano Diretor de Saneamento Básico das bacias dos Rios Pardo, Mojiguaçu e Sapucaí Mirim, Hidroservice/Sabesp, 1989.

Como conseqüência do aumento populacional ocorre, além de um incremento na quantidade de resíduos líquidos produzidos, uma demanda maior de água, principalmente, nos grandes centros urbanos.

Os centros urbanos possuem diferentes sistemas de captação de água na região em estudo. Ribeirão Preto e municípios vizinhos captam água subterrânea, predominantemente. As cidades de Serrana e Cravinhos são abastecidas por drenos e poços profundos, não se prevendo a curto prazo, portanto, conflitos de uso quanto à água para abastecimento urbano.

O sistema de captação de água para consumo humano e industrial na região pode ser observado na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Sistema de captação de água - Médio Pardo - 1992.

Vazão captada (m ³ /s)		Nº fontes	Índice de perdas
Superficial	Subterrânea		
0,1170	3,0029	129	43%
Vazão captada total = 3,1199		Consumo per capita = 261(l/dia/hab.)	

Fonte: Adaptado do Plano Diretor de Saneamento Básico das bacias dos Rios Pardo, Mojiguaçu e Sapucaí Mirim, Hidroservice/SABESP, 1989.

5.1.1.2 Indústrias instaladas na região de estudo

A região em estudo merece destaque pelo seu potencial econômico e um setor bem desenvolvido de sua economia é o industrial. Como é sabido, a instalação de indústrias sem a realização de estudo ambiental prévio, dependendo do seu porte, geração de resíduos e localização, pode causar sérios danos ao ambiente. Esse fato pode se agravar quando não existe tratamento correto dos seus resíduos.

As indústrias, nos seus processos de produção, utilizam diferentes quantidades de água. As vazões de captação das principais indústrias da região encontram-se representadas na tabela 5.7.

Tabela 5.7: Principais consumidores industriais de água - rio Pardo.

Indústria	Município	Vazão de captação (m³/s)
Irmãos Biaggi S.A. Açúcar e Alcool	Serrana	3,181
Agro Ind. Amália Ltda.	Santa Rosa do Viterbo	2,744
Açucareira Bartolo Ltda.	Pontal	0,428
Atilio Balbo S.A Açúcar e Alcool	Sertãozinho	0,306
Usina Açucareira Bela Vista S.A.	Pontal	0,306
Destilaria Basan S.A.	Pontal	0,192

Fonte: Adaptado do Cadastro de indústrias das Bacias dos rios Pardo e Mojiguaçu, Centro de documentação técnica do DAEE.

Quanto à carga orgânica produzida pode-se dizer que na região do Médio Pardo é bastante intensa e provém de indústrias de vários tipos e localizadas em diferentes municípios, como se observa na tabela 5.8.

Tabela 5.8: Principais indústrias poluidoras - Médio Pardo – 1992/1994.

Indústria	Município	Carga Orgânica (kg DBO ₅ /dia)		Corpo Receptor
		P	R	
Usina Bortolo Carolo *	Pontal	182.130	378	Rio Pardo
Cervejaria Antártica	Ribeirão Preto	3.456	3.024	Ribeirão Preto
Usina da Pedra	Serrana	286.680	2.604	Rio Pardo
Indústria de Papel	Ribeirão Preto	2.916	583,1	Ribeirão Preto
Destilaria Bazan S.A.*	Pontal	149.746	917	Córrego Tamboril
Destilaria Albertina S.A.*	Sertãozinho	80.020	1.149	Córrego Eugênio Mazzer
Usina Santa Lygia S.A.*	Ribeirão Preto	72.787	480	Córrego Monte Alegre
Serrana Papel e Celulose	Serrana	1416	364	Córrego Serrinha

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior de São Paulo, CETESB, 1992 e * 1994. P: Potencial; R: remanescente.

Ribeirão Preto apresenta importante papel em termos de diversificação e aglutinação industriais. Esta região respondia por 11,9% do Valor de Transformação Industrial (VTI) do interior do Estado, em 1970; em 1975, com os impactos da crise econômica, teve sua participação reduzida para 10,1%. Manteve o mesmo índice da década de 70 em 1980 e somente em 1985 eleva sua participação para 12,2%, ultrapassando o nível alcançado em 1970.

As indústrias de bens intermediários, apresentaram um crescimento de mais de 12 pontos percentuais no período 1960/1980. Os ramos que mais cresceram em termos de VTI foram: couros e peles, borracha, material plástico, papel e papelão, mecânica e diversos.

Nas indústrias de bens duráveis e de capital, destacam-se as do setor metal-mecânico com 14,9% do VTI regional, embora parte de suas atividades estejam voltadas para o suprimento da indústria sucroalcooleira.

Quanto às indústrias de bens de consumo, estas representavam 73,6% do VTI regional na década de 60, apresentando um declínio de 22 pontos percentuais em relação a 1980. Para este grupo, não existiu atratividade para ampliação e instalação de novos estabelecimentos. O melhor desempenho do grupo de indústrias de bens de consumo, após 1980, esteve associado à atividade agroindustrial voltada para a exportação, em particular ao açúcar. O crescimento é retomado com a implantação do PROÁLCOOL e com a produção cada vez maior de suco de laranja.

A ocupação industrial é diversificada e apresenta potencial poluidor elevado. A região do Médio Pardo, incluindo os municípios de Serrana, Ribeirão Preto, Jardinópolis, Sertãozinho, Pontal e Morro Agudo, possui a maior concentração de indústrias sucroalcooleiras do país, além de alimentícias, fábricas de papel reciclado e metalúrgicas.

Os principais tipos de indústrias na região do Médio Pardo, bem como o número encontram-se representados na tabela 5.9.

As cargas geradas por essas indústrias, aliadas às cargas de esgoto sanitário das cidades de Serrana, Jardinópolis e Brodowski fazem com que a qualidade do rio Pardo se deteriore rapidamente até a confluência com o ribeirão Preto.

Os esgotos coletados são lançados em bruto no córrego do Retiro Saudoso e no ribeirão Preto que também recebe os efluentes urbanos da cidade de Cravinhos.

Nesta região encontram-se várias indústrias, das quais se destacam a Frigoríficos Brasileiros, o Matadouro Avícola Santa Catarina e as Usinas Comercial e Construtora Balbo S.A. e Albertina.

O ribeirão Preto, após o recebimento dos esgotos urbanos e industriais da cidade de Ribeirão Preto, desde o lançamento destes efluentes até o deságüe no rio Pardo apresenta condições sanitárias críticas, caracterizadas por ausência de oxigênio dissolvido (anaerobiose).

Tabela 5.9: Industrialização na região geoeconômica do Médio Pardo.

Ramo	Número
Minerais não-metálicos	12
Metalúrgica	32
Mecânica	30
Material elétrico e de comunicações	15
Material de transporte	14
Madeira	2
Mobiliário	12
Papel e papelão	3
Borracha	15
Couros, peles e artefatos para viagem	1
Química	26
Produtos farmacêuticos e veterinários	6
Perfumaria, sabões e velas	5
Produtos de matérias plásticas	16
Têxtil	-
Vestuário, calçados e artigos de tecidos	6
Produtos alimentares	43
Bebidas	10
Fumo	-
Editorial e gráfica	11
Diversos	24
Total	283

Fonte: Adaptado do SEADE, 1990 e IBGE 1970 a 1985.

As indústrias no seu processo de produção também geram resíduos sólidos. Toda indústria, independente do seu porte, é responsável pelo destino do seu lixo. Portanto, é importante que haja um local adequado para o lançamento destes resíduos para não comprometer a saúde das pessoas e a qualidade dos recursos naturais.

No entanto, nem sempre se faz um estudo para determinar o local adequado para o depósito do lixo industrial e desta maneira pode ocorrer a contaminação do solo, lençóis subterrâneos e inclusive a poluição das águas superficiais.

A tabela 5.10 demonstra a quantidade de resíduos sólidos industriais produzidos na região do Médio Pardo.

Tabela 5.10: Resíduos sólidos industriais - Médio Pardo - 1994.

Tipo	Quantidade (t/dia)
Perigosos	31,7
Não inertes	391,0
Inertes	6,7

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo, CETESB, 1992.

Dentre os resíduos sólidos produzidos pelas indústrias, alguns são extremamente perigosos tanto ao ambiente quanto à saúde humana. Na tabela 5.11 está representado os tipos de indústrias que geram resíduos sólidos perigosos, bem como a quantidade produzida.

Tabela 5.11: Indústrias que produzem resíduos sólidos perigosos - Médio Pardo.

Gerador	Quantidade (t/dia)
Curtume	7.800
Metalurgia	1.500
Re-refino de óleos lubrificantes	262
Indústria alimentícia	225
Indústria química	98
Demais	5
Total	9.890

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo, CETESB, 1992.

5.1.2 Poluição por Fontes Difusas

A poluição que atinge os corpos d'água por fontes difusas, conforme visto no item 4, é caracterizada, principalmente, por resíduos provenientes da agricultura. Como na região de estudo ocorre o predomínio da

monocultura de cana-de-açúcar, os dados obtidos, de maneira geral, se relacionam à mesma, com algumas exceções.

5.1.2.1 *Insumos utilizados na agricultura*

A cultura da cana-de-açúcar, no Brasil, vem expandindo sua área de abrangência, basicamente, visando atender às necessidades energéticas. Neste sentido, parte significativa do aumento da área de cultivo vem ocorrendo em solos de menor fertilidade, o que implicará utilização intensiva de fertilizantes (PLANALSUCAR, 1981). Na área de estudo, os solos são predominantemente férteis, porém, houve uma expansão significativa, principalmente, a partir da implantação do PROALCOOL. Este fato pode ser comprovado por meio dos resultados obtidos na presente pesquisa.

Com o desenvolvimento da biotecnologia, as espécies de cana-de-açúcar utilizadas vêm passando por alterações nos laboratórios dos grandes centros de pesquisa agrônômica como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) entre outros. Estas alterações são no sentido de tornar estas espécies resistentes às pragas e, desta forma, aumentar a produção.

Considerando esse fato, a maior quantidade de insumos agrícolas aplicados na cultura da cana-de-açúcar referem-se aos herbicidas e adubos.

A seguir serão citadas algumas técnicas de manejo utilizadas na cultura da cana-de-açúcar.

♦ **Calagem** - a calagem deve ser realizada sempre que as quantidades de cálcio e/ou magnésio trocáveis do solo estiverem em níveis insuficientes para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar, ou quando o solo apresentar altos teores de alumínio tóxico.

♦ **Adubação verde** - a adubação verde é prática de fundamental importância dentro do sistema de manejo para recuperação de solos de baixa fertilidade (como os do cerrado), objetivando elevar a produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

A utilização de leguminosas (soja, amendoim, feijão), por ocasião da reforma do canavial, é prática que deve merecer especial atenção, pois conserva o terreno coberto, impedindo a erosão do solo por chuvas pesadas que possam ocorrer; impossibilita o desenvolvimento de ervas invasoras; auxilia a estruturação do solo; aumenta a retenção dos nutrientes; absorve nutrientes das camadas mais profundas do solo, liberando-os posteriormente na camada arável; promove a fixação do nitrogênio atmosférico; aumenta a atividade microbiológica do solo através da adição da matéria orgânica; eleva a retenção de água no solo além de outras funções.

♦ **Torta de filtro** - a torta de filtro, subproduto da clarificação do caldo, é produzida, em média, à razão de 40kg para cada tonelada de cana-de-açúcar processada e apresenta, nessa ocasião, alta umidade (cerca de 75% de água). A tabela 5.12 apresenta a composição química média da torta úmida.

Tabela 5.12: Composição química média da torta úmida (95% de umidade).

Nutriente	kg/t torta úmida
N	2,8
P ₂ O ₅	4,7
K ₂ O	0,7
CaO	11,2
MgO	1,3
SO ₄	7,9

Fonte: PLANALSUCAR, 1981.

A torta de filtro é resíduo obrigatório nas usinas de açúcar e facultativo nas destilarias de álcool. Tal resíduo pode substituir parcialmente as adubações minerais.

É importante ressaltar que a torta de filtro substitui integralmente a adubação nitrogenada de plantio e, contendo fósforo, substituirá, total ou parcialmente, as adubações fosfatadas minerais. Contém também bastante potássio, porém, como este é bastante consumido pela cana-de-açúcar há necessidade, contudo, de complementação com fertilizante potássico à razão de 80kg K₂O/ha.

Quando não for possível sua aplicação no sulco de plantio, pode-se utilizar a torta de filtro em área total, entre as arações e gradagens, à proporção de 80-100 t de torta/ha.

♦ **Nitrogênio** - de maneira geral, os fertilizantes nitrogenados quando aplicados ao solo devem ser incorporados ao mesmo, objetivando aumentar sua eficiência, lembrado-se que, especificamente para a uréia, mesmo em solos ácidos, as perdas por volatilização podem ser elevadas.

Apesar de alta extração do nitrogênio pela cultura de cana-de-açúcar, a cana-planta⁹, para alguns solos, tem apresentado menor reação ao nutriente citado. As possíveis causas desse comportamento seriam a fixação biológica do nitrogênio e a presença do mesmo em forma disponível no solo.

Para as soqueiras¹⁰, o comportamento do nitrogênio é diferente, pois, em geral, a cultura responde bem ao fertilizante, principalmente em certos solos argilosos, como os de terra roxa estruturada, nos quais experimentos têm demonstrado doses de até 167 kg de N/ha.

Aplicações pesadas ou tardias de nitrogênio (acima de 200 kg N/ha) poderão provocar um estímulo ao crescimento vegetativo em detrimento da maturação, originando uma diminuição da percentagem de açúcar aparente da cultura.

♦ **Fósforo** - em solos tradicionalmente cultivados com cana-de-açúcar, a resposta da planta ao fósforo tem sido baixa devido às adições anteriores desse elemento, já que o mesmo não é lixiviado e nem se volatiliza no solo e suas perdas são somente por meio da erosão e exportação pela cultura.

Devido à expansão da fronteira agrícola canavieira incentivada pelo PROÁLCOOL, tem-se observado a instalação da cultura em solos de cerrado, os quais são altamente intemperizados, apresentando elevada fixação do fósforo. Esse fato, associado aos baixos teores do nutriente em

⁹ **Cana-planta:** é a cana-de-açúcar que ainda não foi cortada.

¹⁰ **Sequeira ou Cana-soca:** É a cana-de-açúcar após o primeiro corte.

tais solos, implica maiores quantidades de fósforo aplicado por unidade de área.

Observa-se também, dentro da referida expansão, o aproveitamento de área de pastagem para o cultivo da cana-de-açúcar, onde tem-se obtido significativas respostas à adição de fertilizantes fosfatados.

A cana-soca tem apresentado baixa reação ao fósforo e sua presença, em certos casos vem sendo suprimida nas formulações. A fim de melhorar a eficiência do fertilizante, a adição do fósforo em cana-soca deve ser realizada em profundidade de 10 a 15cm e lateralmente, em ambos os lados da linha de cana-de-açúcar. Com isso objetiva-se localizar o adubo em zona mais próxima ao sistema radicular ativo, facilitando sua absorção pela planta, uma vez que a mobilidade do nutriente é muito baixa no solo.

Em estudos realizados por JORGENSEN e VOLLENWEIDER¹¹ *apud* PIÃO (1995), o cálculo das exportações de nitrogênio (EN) e fósforo (EP) foi obtido baseando na classificação geológica, ígnea (I) e sedimentar (S) e no uso da terra, conforme tabela 5.13.

Tabela 5.13: Estimativa de exportação de fósforo (EP) e nitrogênio (EN) em mg. m⁻². ano⁻¹.

Uso da terra		Fósforo (EP)		Nitrogênio (EN)	
		Classificação geológica		Classificação geológica	
		I	S	I	S
Escoamento da floresta	Variação	0,7 - 9,0	9,0 - 18	130 - 300	150 - 500
	média	4,7	11,7		
floresta mais pastagem	Variação	6,0 - 12	11 - 37	200 - 600	300 - 800
	média	10,2	23,3		
área de agricultura	cítrica	18		22400	
	pastagens	15 - 75		100 - 850	
	cultivo	22 - 100		500 - 1200	

Fonte: JORGENSEN e VOLLENWEIDER *apud* PIÃO, 1995.

I - Classificação geológica ígnea
S - Classificação geológica sedimentar.

◆ **Potássio** - a cana-de-açúcar extrai altas quantidades de potássio, e tanto a cana-planta como as soqueiras respondem bem à adição desse

¹¹ JORGENSEN, S. G.; VOLLENWEIDER, R. A. (1989). *Principles of Lacey Management*. *Internacional Lacey Environment Committee United Nations Environment Programme*.

elemento. Considerando-se que o potássio é um elemento de alta mobilidade no solo, em locais onde o mesmo seja exigido em maiores quantidades, a aplicação poderá traduzir-se em prática recomendável.

♦ **Vinhaça** - constitui o principal efluente das destilarias de álcool e é produzida na proporção média de treze litros para cada litro de álcool. Dos componentes mais importantes de tal resíduo, além da matéria orgânica em estado coloidal que apresenta elevado teor de DBO, sobressaem-se potássio, cálcio, enxofre e, em menores proporções, nitrogênio e magnésio. Sua utilização agrícola, substituindo parcial ou totalmente a adubação mineral, é prática rotineira na grande maioria das unidades produtoras da região Centro-sul.

Segundo PLANALSUCAR (1981), tomando como exemplo 10,7 milhões de m³ de álcool, como consequência, deverá gerar cerca de 140 milhões de m³ de vinhaça, podendo estimar que tal volume de vinhaça deverá conter 49.280 t de nitrogênio (N), 30.240 t de fósforo (P₂O₅) e 294.840 t de potássio (K₂O).

Estudos do PLANALSUCAR têm evidenciado que, para certos solos, e dependendo da quantidade a ser aplicada e da composição química da vinhaça, torna-se necessária a complementação desse resíduo com nitrogênio e fósforo.

Os efeitos da adição da vinhaça no solo são: elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, aumento de poder de retenção de cátions pelo solo, aumento da capacidade de retenção da água, melhoria da estrutura física do solo, diminuição da disponibilidade do nitrogênio no solo e o aumento da população e das atividades microbianas do solo, além de pequena diminuição da erosão segundo alguns técnicos e pesquisadores.

Observa-se, portanto, que a aplicação da vinhaça no solo pode ser útil ao mesmo e principalmente à cultura de cana-de-açúcar. No entanto, se houver um excesso na quantidade aplicada poderá ocorrer danos ao ambiente. A aplicação vai depender do tipo de vinhaça, do tipo de solo, do seu teor de argila, matéria orgânica e sais. O excesso de vinhaça no solo

implica em um aumento da concentração de nutrientes e conseqüentemente os mesmos poderão atingir os cursos d'água.

Utiliza-se a vinhaça também como veículo da distribuição de fertilizantes, defensivos ou herbicidas.

♦ **Herbicidas** - As novas espécies de cana-de-açúcar que estão sendo criadas são resistentes às pragas devido ao seu melhoramento genético, como já mencionado e, portanto, os herbicidas são aplicados para combater ervas daninhas.

Quando há preocupação com a conservação do solo, estes herbicidas ficam retidos e são degradados. Existem leis que asseguram a conservação do solo, mas estas não são respeitadas e na maioria das vezes os herbicidas atingem os cursos d'água, causando diversos danos.

Segundo GELMINI (1988), existem vários métodos de controle de plantas daninhas: controle preventivo, tipo de cultura, controle biológico, controle físico, controle mecânico e controle químico (utilizando os herbicidas).

O controle químico vem sendo cada vez mais utilizado e difundido, em razão de seus resultados serem mais rápidos, eficientes e com efeito mais prolongado.

Basicamente, os herbicidas são aplicados às plantas ou ao solo. Quando aplicado à parte aérea, o herbicida deve atingir de modo efetivo a planta, ser retido pela folha, absorvido e translocado para o local de ação, de modo a atingí-lo em concentração suficiente para provocar a morte da planta. Por outro lado, quando aplicados ao solo, os íons ou moléculas devem primeiramente entrar em contato direto com a raiz da planta, o que é realizado pelo crescimento do sistema radicular, pelo movimento de água em direção às raízes ou através de gradiente de concentração (difusão).

O comportamento dos herbicidas no solo pode ser afetado por diversos fatores, como absorção, fotodecomposição, decomposição química, lixiviação, volatilidade, decomposição microbiana, além da própria absorção verificada pelas plantas.

Além da natureza do herbicida, que permite que moléculas com características diferentes sejam também absorvidas de modo diferente, solos de textura argilosa ou com elevada percentagem de matéria orgânica necessitam de maior quantidade de herbicida quando comparados com aqueles de textura arenosa ou com baixa percentagem de matéria orgânica.

A lixiviação, que consiste no movimento do herbicida no solo influenciado pelo movimento da água, pode ocorrer em qualquer direção no solo, na dependência da direção do fluxo da água.

Na região agrícola de Ribeirão Preto, os herbicidas são aplicados, principalmente, nas culturas de cana-de-açúcar, soja e arroz, sendo também utilizados, porém em menor escala, nas culturas de algodão, milho, sorgo, café, citrus, tomate e amendoim.

Os herbicidas na cultura de cana-de-açúcar são geralmente aplicados em pré-emergência da planta daninha, de 10 a 15 dias após o plantio da cana-de-açúcar. Raramente, realiza-se a aplicação de herbicidas em pós-emergência, em decorrência da seletividade dos herbicidas ser apenas parcial para a cana-de-açúcar. No caso de algumas plantas daninhas perenes, difíceis de serem controladas, ocorrem aplicações dirigidas ao mato, evitando-se assim atingir a cana-de-açúcar.

Estes herbicidas são, na maioria das vezes, misturados, para se obter um efeito aditivo ou mesmo sinérgico, sendo que estas misturas podem ser feitas nos tanques ou são encontradas já prontas comercialmente. Os principais herbicidas utilizados estão listados na tabela 5.14, de acordo com seu nome comum, sendo que no mercado existem diversas marcas comerciais.

Cada herbicida tem o seu tempo de persistência, degradação e deslocamento no ambiente diferenciados. Podem ser de persistência e degradação curta (meia-vida até 90 dias), média (meia-vida de 91 até 180 dias) ou longa (meia-vida acima de 180 dias). Quanto ao deslocamento podem não deslocar ou possuir um deslocamento pequeno de até 20 cm durante a meia-vida, como apresentado na tabela 5.15.

Tabela 5.14: Principais herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

HERBICIDAS	PRÉ-EMERGÊNCIA	PÓS-EMERGÊNCIA
Alachlor	X	
Ametrina	X	X
Atrazina	X	
Cyanazina	X	
2.4-D	X	
Dicamba	X	
Diuron	X	
Metolachlor	X	
Metribuzin	X	
Napropamide	X	
Pendimethalin	X	
Simazina	X	
Tebuthiuron	X	
Terbacil	X	
Asulan		X
Dalapon		X
Fluazifopbutil		X
Glifosate		X
Ioxinil		X
MSMA		X
Paraquat		X

Fonte: Adaptado da Fundação CARGIL, s/d.

A dosagem do herbicida depende de diversos fatores como tipo de solo e tipo de planta daninha, entre outros. As empresas que fabricam e vendem os herbicidas fornecem, juntamente com o produto, um manual com composição do produto e instruções de uso (dosagem, aplicação, carência, precauções, sintomas e tratamento no caso de intoxicação). No entanto, sabe-se que as instruções nem sempre são seguidas, por ignorância ou para redução de custos, causando vários danos aos trabalhadores como intoxicação, queimaduras, má formação de fetos, abortos, câncer, irritações nos olhos, alergias, entre outros. Na tabela 5.16 pode-se observar algumas dosagens aconselháveis pelo fornecedor, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, para determinados herbicidas. No entanto, é muito difícil saber qual a quantidade real que está sendo aplicada no cultivo da mesma.



Tabela 5.15: Persistência, degradação e deslocamento dos principais herbicidas no ambiente.

HERBICIDA	PERSISTÊNCIA E DEGRADAÇÃO	DESLOCAMENTO
Alachlor	Curta	Não desloca
Ametrina	Média	Pequeno
Atrazina	Média	-
Cyanazina	Curta	-
2,4-D	Curta	-
Dicamba	Curta	-
Diuron	Média	Não desloca
Metolachlor	Curta	Pequeno
Metribuzin	Curta	Pequeno
Napropamide	Média	Pequeno
Pendimethalin	-	-
Simazina	Média	Pequeno
Tebuthiuron	Longa	-
Terbacil	Média	Pequeno
Asulan	Curta	Não desloca
Dalapon	Curta	Pequeno
Fluazifopbutil	Curta	Pequeno
Glifosate	Curta	Pequeno
Ioxinil	-	-
MSMA	Curta	Pequeno
Paraquat	Longa	Não desloca

Fonte: Adaptado do PLANALSUCAR, 1985.

GOMES (1997) realizou um estudo em Ribeirão Preto, na microbacia do Córrego do Espreado, dando ênfase ao uso do solo, comportamento de insumos agrícolas e qualidade da água em área de cultivo da cana-de-açúcar.

Tabela 5.16: Dosagens de herbicidas para aplicação na cana-de-açúcar.

HERBICIDA	DOSAGEM
Dicamba	Aplicação aérea: 30 - 40 L / ha Aplicação terrestre: 200 - 400 L / ha
Metolachlor	3,0 - 3,5 L / ha dependendo do tipo de solo
Prometrina	1,2 - 2,0 kg / ha
Ametrina	Pré - emergência: 3,2 - 5,0 kg / ha Pós - emergência: 3,2 - 5,0 kg / ha
Atrazina	Pré - emergência: 2,5 - 3,0 kg / ha Pós - emergência: 3,0 - 3,5 kg / ha

Fonte: Adaptado da Novartis Agro (1998).

Os resultados da pesquisa, obtidos pela simulação dos herbicidas hexazinone, diuron, atrazina, ametrina e tebuthiuron em dois solos da microbacia do córrego do Espreado, considerando-se um período de quatro anos, mostraram que o hexazinone e a atrazina, teoricamente, seriam os herbicidas que chegariam mais rapidamente à água subterrânea via areia quartzosa. No entanto, em função da alta degradabilidade da atrazina, dificilmente ela atingirá grandes profundidades. Já o hexazinone, oferece maior risco, juntamente com o tebuthiuron, pelas seguintes razões:

- a) alto potencial de lixiviação;
- b) baixa degradabilidade ;
- c) meia-vida relativamente longa.

A atrazina tem sido usada somente nas áreas de pivô central, com culturas de milho e feijão.

Os resultados obtidos por GOMES (1997) em relação ao solo, água, nitratos, herbicidas, microrganismos do solo, dados climatológicos e fisiográficos da microbacia devem alimentar modelos matemáticos e sistemas de inteligência artificial, que evidenciarão não só a existência de ações impactantes, mas também, indicarão as ações de intervenção necessárias para mitigar os impactos ambientais, porventura detectados.

As análises referentes à ocorrência de herbicidas e nitratos em água, tanto superficial quanto subterrânea, indicaram a presença desses

compostos em concentrações abaixo do nível crítico estabelecido pela OMS para os padrões de potabilidade. Os maiores valores foram encontrados no poço localizado dentro da microbacia do Espraiado. No entanto, observou-se uma tendência de maiores valores no mês de maio, no período no qual desenvolveu-se o estudo. Considerando que este mês se situa dentro de um período de estiagem, é provável que a diminuição do volume de água, superficial e subterrânea, tenha sido responsável pela concentração do composto em questão.

No caso dos herbicidas, a complexidade é maior quando se refere à concentração de suas moléculas constituintes. Uma análise dos valores obtidos durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 1995 e durante os meses de janeiro, março, maio e julho de 1996, revelou que para os cinco produtos analisados (tebuthiuron, hexazinone, diuron, simazina, atrazina e ametrina), houve uma concentração preferencial para o tebuthiuron e hexazinone, evidenciando que somente moléculas de alta mobilidade estão chegando ao lençol subterrâneo. A tabela 5.17 está demonstrando a evolução do uso de herbicidas, sob o cultivo da cana-de-açúcar na microbacia do córrego do Espraiado no município de Ribeirão Preto.

Tabela 5.17: Intensidade de uso de herbicidas (kg/ha) com maior potencial de lixiviação aplicados nas áreas de latossolo vermelho-escuro, textura média e areia quartzosa, sob cultivo de cana-de-açúcar, na microbacia do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto-SP.

Herbicida	Ano de Aplicação				
	1993	1994	1995	1996	1997
Diuron	2,5	1,2	1,2	1,2	1,2
Ametrina	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Tebuthiuron	0,5	1,1	1,1	1,1	1,1
Hexazinone	-	0,33	0,33	0,33	0,33

Fonte: Adaptado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

5.1.2.2 *Indústrias sucroalcooleiras e seus resíduos*

Em meados da década de 70, com a implementação do PROÁLCOOL no país, começam os incentivos ao cultivo da cana-de-açúcar. A região de Ribeirão Preto, devido às condições climáticas, declividade baixa e os solos férteis (predomínio de latossolo roxo) foi uma das que respondeu aos incentivos, representando na atualidade, aproximadamente, um terço da produção do Estado de São Paulo.

Com a expansão da área de cultivo de cana-de-açúcar, conseqüentemente ocorre uma elevação do nível de poluição ambiental. Esse item têm como objetivo levantar alguns dados referentes às usinas sucroalcooleiras da região em estudo e a sua produção de resíduos, que podem estar sendo prejudiciais ao meio.

Na região de Pontal e Sertãozinho encontram-se tradicionais engenhos de aguardentes e usinas de açúcar e álcool. Destes, destacam-se alguns com altas cargas remanescentes como a Usina São Francisco, a Usina Santo Antônio, a Usina Santa Elisa, a Cia. Açucareira Barbacena, Irmãos Toniello Ltda., Açucareira Bartolo Carolo e a Usina Bela Vista.

A tabela 5.18 mostra o número de usinas e destilarias, o número de municípios a qual elas pertencem e a quantidade de cana moída, fazendo uma comparação entre Ribeirão Preto e o Estado de São Paulo como um todo.

Tabela 5.18: Número e produção das usinas e destilarias por Divisão Regional Agrícola (DIRA) - Estado de São Paulo - 1991.

Ribeirão Preto		
	Usinas	Destilarias
Número	27	16
Municípios	17	12
Cana Moída	44.614.000 t/ano	10.287.000 t/ano
Estado de São Paulo		
	Usinas	Destilarias
Número	75	62
Municípios	52	54
Cana Moída	104.741.000 t/ano	28.482.000 t/ano

Fonte: Adaptado de MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE, 1995.

Em se tratando de percentual, pode-se dizer que Ribeirão Preto possuía, em 1993, 36% das usinas e 25% das destilarias do Estado de São Paulo. Se responsabilizava por 42,6% de cana-de-açúcar moída pelas usinas e 36% de cana-de-açúcar moída pelas destilarias, significando, como mencionado anteriormente, um terço, em média, em relação ao Estado de São Paulo.

A figura 5.5 demonstra esta relação de maneira mais clara.

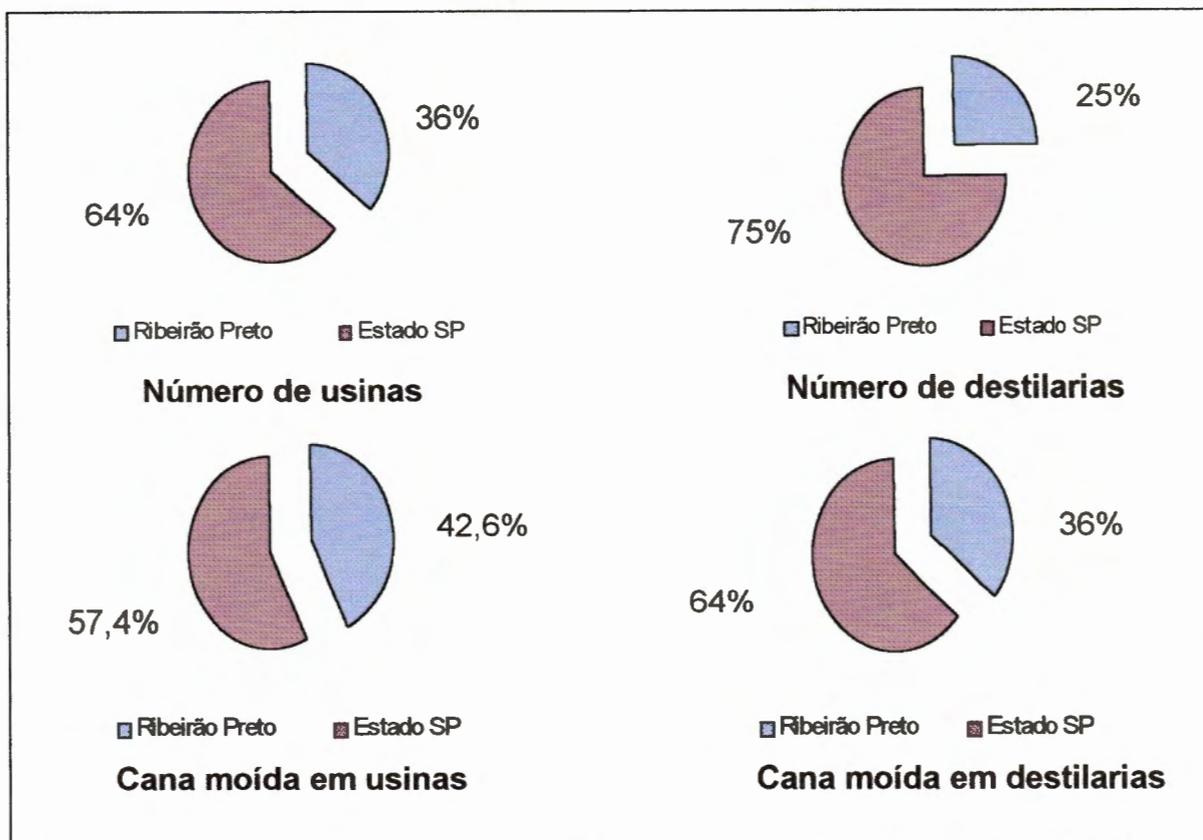


Figura 5.5: Representatividade percentual da produção de cana-de-açúcar da região de Ribeirão Preto em relação ao Estado de São Paulo.

Fonte: Adaptado de MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE, 1995.

A tabela 5.19 compara a produção de cana-de-açúcar (1000t/ano) do município de Ribeirão Preto com o Estado de São Paulo, de forma evolutiva.

Tabela 5.19: Evolução e participação percentual da produção de cana-de-açúcar de Ribeirão Preto em relação ao Estado de São Paulo.

Ribeirão Preto				
Produção (t/ano)				
1970/1971	1975/1976	1980/1981	1985/1986	1990/1991
12.000.000	17.700.000	29.160.000	42.670.000	53.260.000
Estado de São Paulo				
Produção (t/ano)				
1970/1971	1975/1976	1980/1981	1985/1986	1990/1991
36.000.000	47.500.000	73.140.000	122.910.000	143.900.000

Fonte: Adaptado de MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJI GUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE, 1995.

Pode-se confirmar com estes resultados que realmente a produção de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto é bastante significativa em relação à produção estadual. Observa-se ainda que o aumento da produção ao longo dos anos é gradativo e que em vinte anos o acréscimo foi de 75%. Este aumento pode ser explicado pelo desenvolvimento de espécies mais resistentes às pragas, de novas técnicas de cultivo, de adubos mais eficientes, porém ressalta-se a exploração de novas áreas para cultivo, o que sugere a destruição de matas nativas, a elevação da quantidade de insumos agrícolas aplicada, bem como a geração de mais resíduos pelas indústrias sucroalcooleiras. Este fato será melhor explorado posteriormente.

A tabela 5.20 compara a área cultivada de cana-de-açúcar de Ribeirão Preto com a do Estado de São Paulo.

O percentual de área cultivada de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto, comparando com o Estado de São Paulo, é de 35% como mostra a figura 5.6.

Tabela 5.20: Área cultivada de cana-de-açúcar - Ribeirão Preto - 1991.

Área (ha)	
Ribeirão Preto	754,09
Estado de São Paulo	2.109,92

Fonte: Adaptado de MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJI GUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE (1995).

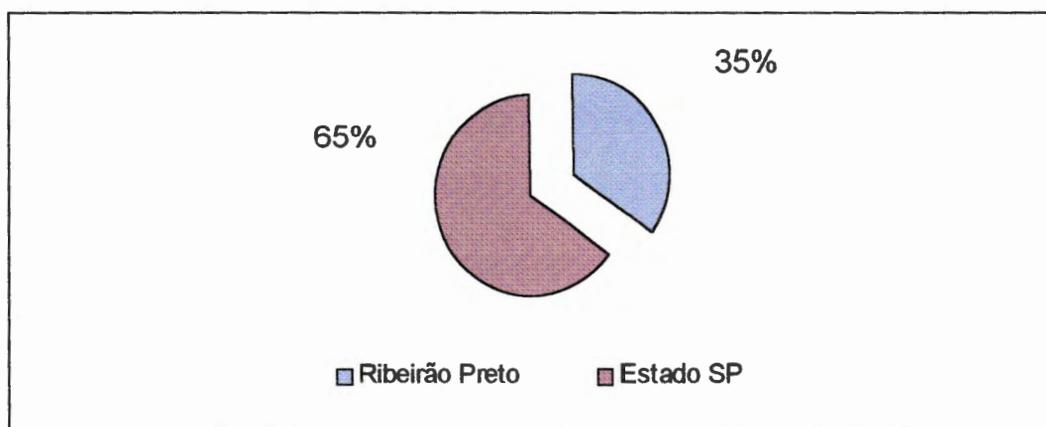


Figura 5.6: Representação percentual da área cultivada de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto comparada a do Estado de São Paulo.

Com relação às cargas orgânicas produzidas pelas indústrias sucroalcooleiras e seu lançamento, tem-se as tabelas 5.21 e 5.22, referentes ao ano de 1992 e 1994, respectivamente. Porém, atualmente a legislação ambiental exige que os resíduos produzidos pelas mesmas sejam tratados antes do seu lançamento nos rios. O que ainda ocorre é o lançamento de vinhaça e torta de filtro no solo, o que pode ser problemático.

Tabela 5.21: Carga orgânica industrial (açúcar e álcool) na bacia do Médio Pardo (kg DBO/ano) – 1992.

Indústria	Município	Carga potencial
Usina Martinópolis S. A.	Serrana	194.616
Agro Indústria Bela Vista	Pontal	85.150
Destilaria Galo Bravo	Ribeirão Preto	76.848
Destilaria Jardinópolis	Jardinópolis	74.848
Engenho Belize	Pontal	2.040
Ind. Aguardente 13 de Maio	Pontal	1.637

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo, CETESB (1992).

Tabela 5.22: Cargas poluidoras de origem industrial (açúcar e álcool) na bacia do Médio Pardo -1994.

Fonte de Poluição	Município	Carga Poluidora (kg DBO ₅ /dia)		Corpo Receptor
		P*	R**	
Usina Albertina S.A.	Sertãozinho	80.020	1.149	Córrego Eug. Mazzer
Destilaria Bazan S. A.	Pontal	149.746	917	Córrego Tamboril
Usina Sta. Lygia S.A.	Ribeirão Preto	72.787	480	Córrego Monte Alegre
Açucareira Bortolo Carolo S.A.	Pontal	182.130	378	Rio Pardo

Fonte: Adaptado do Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior de São Paulo, CETESB (1994). P: potencial; R: remanescente.

5.1.3 Parâmetros para Determinação da Qualidade da Água

A Lei Estadual nº 118, promulgada em 29/06/73, que autorizou a criação da CETESB, em seu Artigo 2º, Inciso VI, dá-lhe a atribuição de manter sistema de informações e divulgar dados de interesse da engenharia sanitária e da poluição das águas, de forma a ensejar o aperfeiçoamento de métodos e processos para estudos e projetos, execução, operação e manutenção de sistemas.

Com este intuito, em fins de 1974, deu-se início à operação da Rede Básica de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, com a seleção de quarenta e sete pontos de amostragem. Desde então, em busca de melhor representatividade e em atendimento às necessidades inerentes aos programas de controle da poluição das águas, desenvolvidos pela CETESB, várias modificações foram introduzidas, tendo-se alterado o número de pontos de amostragem, as freqüências das coletas e os parâmetros analisados.

Em atendimento à Lei Estadual nº 7663 de dezembro de 1991, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e ao Decreto Estadual nº 36787 de maio de 1993, os relatórios da CETESB estão estruturados de acordo com a divisão do Estado de São Paulo em UGRHI (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos), reunidas em onze grupos.

No ano de 1995 a Rede Básica de Monitoramento contou com cento e dezesseis pontos de amostragem, distribuídos entre os principais corpos d'água que, total ou parcialmente, estão contidos no Estado de São Paulo.

O rio Pardo pertence à Sétima Zona Hidrográfica. Esta ocupa uma área de cerca de 40.835 km², integrada pelas bacias hidrográficas dos rios Pardo, Sapucaí, Carmo e Canoas, tributários do rio Grande.

A qualidade das águas do rio Pardo é acompanhada pela CETESB através de quatro pontos de amostragem. No presente estudo utilizam-se os dados referentes a dois pontos de amostragem: PD2040 e PD2060. Esse

fato se justifica por serem pontos próximos a Ribeirão Preto, sendo o primeiro à montante e o segundo à jusante da descarga de esgotos urbanos e industriais deste município.

Com o objetivo de facilitar a interpretação das informações de qualidade de água de forma abrangente e útil, a CETESB, a partir de um estudo realizado em 1970 pela "National Sanitation Foundation" dos Estados Unidos, adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade de Água (IQA), que incorpora nove parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas.

Como o objetivo do trabalho é traçar um perfil evolutivo da qualidade da água em um trecho do rio Pardo e a quantidade de dados referentes aos parâmetros de qualidade de água é bastante abundante, optou-se para a consideração dos seguintes parâmetros: Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Fósforo Total, Nitrogênio Total, DBO e OD.

Os resultados obtidos nos relatórios de águas interiores do Estado de São Paulo (CETESB), referentes aos parâmetros citados, nos anos de 1985 a 1997 para os pontos 2040 e 2060, podem ser observados nas tabelas 5.23 a 5.31.

A) Coliformes Totais:

As bactérias do grupo *coli* são de grande importância para o sanitarista, pois, são habitantes simbioses do intestino de animais homotérmicos e podem, portanto, indicar contaminação da água por esgotos sanitários (BRANCO, 1986).

Entende-se por coliformes totais todas as bactérias do gênero *coli* encontradas na água, seja provinda de esgotos sanitários ou não.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, nos corpos d'água classe 2, na qual está o rio Pardo, os coliformes totais não devem ultrapassar 5.000 organismos/100 ml. A tabela 5.23 mostra um aumento ao longo dos anos em ambos os pontos: 2040 e 2060. Em todos os anos pode-se notar que o número de coliformes totais é sempre menor no ponto 2040,

salvo algumas exceções. Isto deve-se ao fato deste localizar-se a montante de Ribeirão Preto, não estando presentes ainda os coliformes provindos do esgoto sanitário desta cidade que possui aproximadamente 500.000 habitantes. É de grande importância ressaltar que todos os valores obtidos em ambos os pontos encontram-se muito acima do limite fixado pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, para corpos d'água classe 2, indicando pois que em relação a este parâmetro a qualidade da água no trecho em estudo não está satisfatória para o uso que foi proposto.

B) Coliformes Fecais:

Quanto aos coliformes fecais provindos das instalações sanitárias, admite-se que águas contendo mais de 1 colibacilo/100 ml podem conter também bactérias patogênicas que irão comprometer a saúde humana.

Entende-se por coliformes fecais todas as bactérias do grupo *coli* que habitam obrigatoriamente o intestino de animais homotérmicos e, portanto, indicam presença de esgoto sanitário.

A Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86 fixa como limite superior para os rios classe 2, no que se refere a coliformes fecais o valor de 1000 organismos/100ml. A tabela 5.24 mostra que os valores encontrados também são mais elevados no Ponto 2060 que no 2040, devido ao lançamento de esgoto da cidade de Ribeirão Preto e demais cidades de montante. Um outro fator de destaque é que a maioria dos valores encontram-se acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, para corpos d'água classe 2. No entanto, uma pequena parcela dos valores apresentam-se abaixo deste limite e, coincidentemente, no Ponto 2040 em meses diferentes. Ao analisar estes resultados, pode-se dizer que para coliformes fecais as águas do trecho do rio Pardo pertencente à área em estudo não se enquadram aos padrões determinados para a classe 2.

C) Fósforo Total:

O fósforo total que atinge um curso d'água pode provir de fontes pontuais (esgotos sanitários e industriais) e de fontes difusas (agricultura). Para o esgoto sanitário calcula-se que cada habitante produza 2g de fósforo por dia. Dessa forma, apenas para o lançamento de esgoto sanitário da cidade de Ribeirão Preto, têm-se uma carga de, aproximadamente, 900 kg de fósforo por dia. Esse valor é bastante significativo, sabendo-se que não há tratamento de esgoto sanitário nesta cidade, e ainda, que há outras cidades lançando o seu esgoto no rio Pardo, além da carga que pode estar atingindo o rio pelo escoamento superficial.

Nos corpos d'água classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86 a concentração máxima de fósforo total não poderá exceder 0,025 mg/L. Ao analisar a tabela 5.25 observa-se que os valores encontrados no Ponto 2060 são mais elevados que os do Ponto 2040 para todos os meses relacionados. Isto já era esperado pois esse ponto a jusante de Ribeirão Preto recebe despejos de esgoto da cidade e, provavelmente, contribuição por fontes difusas. Considerando-se em termos de concentração a situação evolutiva, percebe-se que há uma tendência dos valores em elevar-se nos anos 90 em relação ao ano de 1985, principalmente, no Ponto 2060. Este fato se explica, talvez, pelo aumento gradativo da população ao longo dos anos. De maneira geral, os valores de fósforo obtidos encontram-se acima do permitido pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, para classe 2.

Para o período chuvoso espera-se que haja uma diluição dos nutrientes contidos no curso d'água devido ao aumento de vazão e, portanto, ocorra uma diminuição da concentração encontrada, considerando-se apenas as fontes pontuais. Como este fato não foi observado pelos valores de concentrações, pode-se inferir que as mesmas não diminuem devido a carga que está entrando por fontes difusas (tabela 5.26).

D) Nitrogênio Total:

Considera-se nitrogênio orgânico total (NKT) o nitrogênio orgânico particulado mais o nitrogênio amoniacal. A CETESB analisa o teor de nitrogênio total pelo Método Kjeldahl, que transforma todo o nitrogênio em amoniacal.

O nitrogênio total que atinge um curso d'água também é originário de fontes pontuais e de fontes difusas. Para o esgoto sanitário calcula-se que cada habitante produza 8g de nitrogênio por dia. Considerando-se a população de Ribeirão Preto, têm-se um lançamento 3.600kg de nitrogênio por dia, pelo esgoto sanitário.

Os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, relacionam, para rio classe 2, concentrações máximas de nitrogênio amoniacal de 0,002 mg/L, de nitrogênio nitrato de 10,0 mg/L e de nitrogênio nitrito de 1,0 mg/l. Ao observar a tabela 5.27 verifica-se também valores maiores no Ponto 2060 como foi justificado para os parâmetros anteriores. Os dados obtidos mostram que o aumento ao longo dos anos é gradativo; o mês de Janeiro ilustra bem esse fato. Ocorrem alguns picos em determinados meses do ano. Isto pode ter ocorrido por algum despejo pontual concentrado, seja por indústrias ou por usinas sucroalcooleiras. É de grande importância ressaltar que os valores encontram-se bastante acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86, principalmente no ano de 1997.

Em relação à carga (tabela 5.28), pode-se dizer que em períodos de chuva a concentração de nutrientes não diminui e que, como para o fósforo, há uma entrada de carga no sistema além da carga pontual, provavelmente, provinda por fontes difusas (agricultura).

Deve-se considerar também que o nitrogênio total medido no Ponto 2040, ao passar por um trecho de, aproximadamente, 48km, transforma-se em nitrito e nitrato, dessa forma somente são detectados no Ponto 2060 parte do nitrogênio total que entra no trecho por fontes pontuais e difusas.

A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), segundo BRANCO (1986), é utilizada para exprimir o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente, correspondendo à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantida a uma temperatura por um período de tempo convencional. É utilizada como teste quantitativo das condições de um curso de água, constitui índice de poluição, mas não de contaminação.

Em condições de poluição elevada de um rio, a DBO tende a aumentar porque as bactérias aeróbias se proliferam consumindo o oxigênio dissolvido na água.

Para os corpos d'água classe 2 a Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86 fixa valor máximo para DBO₅, 20°C em 5 mg/L. Analisando-se a tabela 5.29 observa-se que os valores de DBO do Ponto 2060 apresentam-se sempre iguais ou maiores que os valores encontrados no Ponto 2040, devido ao lançamento de esgoto da cidade de Ribeirão Preto. Entretanto, não ocorre um aumento da mesma de forma evolutiva, já que o esperado é que em um ponto a jusante do lançamento de esgoto *in natura* de uma cidade cuja população apresenta-se crescente ao longo dos anos analisados, a DBO estivesse também aumentando, mesmo que o processo de decomposição fosse rápido.

Deve-se considerar ainda que a região possui uma cultura intensa de cana-de-açúcar, o que provavelmente contribui para aumento de matéria orgânica no rio, elevando pois a DBO. Os dados obtidos pela CETESB em relação a este parâmetro parecem não corresponder à realidade, pois os valores encontrados são muito reduzidos, oscilando entre 1,0 e 3,0 mg/l, valores encontrados em águas limpas. Pode estar ocorrendo a precipitação da matéria orgânica e decomposição pelo bênton, não sendo detectado aumento da DBO pelas análises feitas da água. Estudos realizados em rios com condições similares como, por exemplo, o rio Corumbataí (RELATÓRIO DO PROGRAMA DE INVESTIMENTOS, 1994) mostram níveis de DBO mais elevados em locais onde não há tratamento prévio ao lançamento do esgoto, como é o caso de Ribeirão Preto.

Em relação à carga de DBO (tabela 5.30) pode-se dizer que os valores também não oscilam muito evolutivamente e nem mesmo do Ponto 2040 para o 2060. A carga de DBO que é lançada no rio pela cidade de Ribeirão Preto é equivalente à 24.300 kg por dia, além das cargas provindas de outras cidades e por fontes difusas.

F) Oxigênio Dissolvido:

Sabe-se que a concentração de oxigênio dissolvido em qualquer massa d'água, está em permanente equilíbrio com a pressão parcial do oxigênio atmosférico. Essa concentração é proporcional à temperatura da água e pode ser expressa em termos de porcentagem de saturação. Quando a água recebe uma determinada carga de matéria orgânica, parte do seu oxigênio dissolvido será utilizada na oxidação biológica da matéria orgânica introduzida, reduzindo desta forma, a saturação do mesmo na água. Assim, a concentração de oxigênio dissolvido em um curso d'água pode ser usada como um dos parâmetros de determinação da qualidade da água. Quanto mais reduzida a concentração de oxigênio, mais poluído pode ser considerado o rio. No entanto, ocorre um processo natural de reoxigenação das águas por meio de várias fontes, fenômeno que participa do processo de autodepuração do curso d'água.

Para os corpos d'água classe 2 a Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86 estabelece que a concentração de oxigênio dissolvido deve ser superior a 5 mg/L. Analisando-se a tabela 5.31 nota-se que os valores referentes ao Ponto 2040, para todos os anos e meses do ano, com raras exceções, encontram-se mais elevados que os referentes ao Ponto 2060, indicando que a jusante de Ribeirão Preto a situação se torna mais crítica. Portanto, pode estar ocorrendo rápida reaeração e desta forma as condições de OD nos Pontos 2060 e 2040 se aproximam. De 1985 para 1995 não houve uma oscilação significativa dos resultados, estando a maioria dos mesmos acima de 5mg/L, portanto, respeitando os limites determinados pela Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.86.

Tabela 5.23 : Coliformes Totais - (NMP/100mL).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	8.000	240.000	24.000	80.000	11.000	80.000	22.000	2.400.000
	Janeiro	54.000	350.000	50.000	70.000	160.000	170.000	30.000	70.000
	Março	24.000	240.000	24.000	50.000	160.000	80.000	13.000	240.000
Seco	Maio	8.000	280.000	17.000	46.000	90.000	500.000	3.000	300.000
	Julho	13.000	130.000	8.000	240.000	160.000	80.000	22.000	170.000
	Setembro	54.000	350.000	11.000	130.000	50.000	50.000	7.000	50.000

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: 5.000 NMP/100mL.

Tabela 5.24 : Coliformes Fecais - (NMP/100mL).

PERÍODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	3.000	130.000	3.000	30.000	7.000	50.000	5.000	80.000
	Janeiro	4.900	70.000	22.000	11.000	5.000	23.000	3.000	23.000
	Março	4.900	33.000	800	50.000	2.800	8.000	2.300	240.000
Seco	Maio	2.800	49.000	7.000	17.000	3.000	22.000	500	130.000
	Julho	790	49.000	5.000	30.000	500	30.000	2.800	80.000
	Setembro	460	110.000	5.000	11.000	7.000	11.000	1.700	13.000

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: 1.000 NMP/100mL.

Tabela 5.25 : Fósforo Total (mg/L).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	0,140	0,149	0,009	0,018	0,004	0,097	0,006	0,045
	Janeiro	0,050	0,070	0,002	0,070	0,056	0,004	0,032	0,059
	Março	0,071	0,061	0,022	0,147	0,056	0,080	0,002	0,002
Seco	Maio	0,041	0,071	0,027	0,048	0,002	0,065	0,032	0,045
	Julho	0,010	0,034	0,027	0,036	0,022	0,024	0,041	0,089
	Setembro	0,013	0,027	0,018	0,129	0,027	0,102	0,010	0,027

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: máximo de 0,025mg/L.

Tabela 5.26: Carga de Fósforo Total (kg/dia).

PERÍODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	1296	1641	86	216	43	1166	78	691
	Janeiro	1469	2160	26	1123	777	69	1469	3024
	Março	2160	2160	518	3888	1555	2160	-	52
Seco	Maio	518	1123	345	734	26	86	432	691
	Julho	86	432	259	389	173	259	518	1382
	Setembro	86	259	173	1469	173	777	78	259

Tabela 5.27: Nitrogênio Total (mg/L).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	0,79	1,12	1,30	1,43	0,92	1,57	0,87	1,06
	Janeiro	0,43	0,61	0,92	0,87	0,96	1,09	0,97	1,03
	Março	0,63	0,60	0,59	0,98	0,73	0,89	1,04	0,84
Seco	Maio	0,50	0,76	0,61	0,77	0,59	1,59	0,72	1,01
	Julho	0,59	0,77	0,76	1,05	0,45	0,82	0,38	0,65
	Setembro	0,35	0,79	1,05	1,37	0,92	1,29	0,64	1,19

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: máximo de 0,02 mg/L.

Tabela 5.28: Carga de Nitrogênio Total (kg/dia).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	7776	12096	12960	17280	10368	19008	12096	17280
	Janeiro	12960	19872	12960	13824	14688	19872	44928	51840
	Março	19008	19872	12960	25920	20736	24192	-	21600
Seco	Maio	6653	11664	7776	12096	7776	23328	9504	17280
	Julho	6912	10368	6912	11232	3888	7776	5184	8640
	Setembro	3024	7776	8640	1552	6048	10800	5184	12960

Tabela 5.29: Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L).

PERÍODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	1,00	3,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Janeiro	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Março	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Seco	Maio	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00
	Julho	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00
	Setembro	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: máximo de 5mg O₂/L.

Tabela 5.30: Carga referente à Demanda Bioquímica de Oxigênio (kg/dia).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	8640	34560	8640	8640	0,25	25920	12960	17280
	Janeiro	60480	64800	25920	34560	0,35	34560	43200	51840
	Março	86400	69120	21600	25920	25920	25920	-	51840
Seco	Maio	25920	30240	25920	30240	25920	30240	12960	30240
	Julho	21600	25920	8640	21600	864	30240	12960	30240
	Setembro	8640	17280	8640	8640	12960	17280	17280	21600

Tabela 5.31: Oxigênio Dissolvido (mg/L).

PERIODO	MÊS	TEMPO (ANO)							
		1985		1993		1995		1997	
		PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060	PD2040	PD2060
Chuvoso	Novembro	5,90	4,90	7,80	3,70	7,00	5,60	6,5	4,2
	Janeiro	6,60	7,00	6,90	5,40	5,80	4,50	6,8	6,1
	Março	6,80	6,00	7,30	6,00	6,40	6,10	7,3	6,5
Seco	Maio	7,50	6,70	7,90	6,50	6,80	7,30	8,2	6,6
	Julho	7,70	6,50	7,60	6,00	7,50	6,60	6,0	6,7
	Setembro	7,30	6,20	7,90	6,80	8,90	6,90	8,4	6,2

Permitido para classe 2 de acordo com o CONAMA 20: superior a 5mg/L.

5.2 MACROZONEAMENTO E A SITUAÇÃO DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO

Como resultado da implantação de um modelo de crescimento econômico vinculado à industrialização intensiva no Brasil, principalmente, no sul e sudeste, verificam-se focos de degradação da qualidade de vida, devido aos problemas sócio-ambientais significativos.

Dessa forma, a partir dos anos 70, começam a surgir preocupações com estes problemas, sendo implantados por parte do governo e estados, órgãos responsáveis pelo controle da poluição e uso do solo, bem como a desenvolver novos mecanismos institucionais legais.

As bacias hidrográficas dos rios Mojiguaçu, Pardo e Grande (na porção nordeste do estado de São Paulo), vêm apresentando seus primeiros sinais de degradação sócio-ambiental, com rios poluídos por efluentes urbano-industriais, insumos agrícolas e atividades minerais; riscos de contaminação dos aquíferos subterrâneos; degradação da flora nativa; empobrecimento da biodiversidade; desemprego iminente com a substituição do processo manual de colheita de cana-de-açúcar para o mecanizado, entre outros.

A conscientização destes problemas materializou-se na elaboração da Lei Estadual 7.641/91 que estabelece a maneira como esta região deve se condicionar a um macrozoneamento contendo as diretrizes sócio-econômicas e ambientais para seu desenvolvimento futuro. Os responsáveis pelo projeto são: Secretarias Estaduais do Meio Ambiente, Agricultura e Planejamento.

Organizou-se um trabalho de consultas na região e, sob a ótica dos vários segmentos sociais regionais, buscaram compreender os processos de uso e transformação dos recursos naturais.

Houve também associação com a Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais (CPRN). O projeto será desenvolvido em dois anos, iniciou-se em janeiro de 1998, portanto, os trabalhos já estão em curso .

Entre os benefícios que se pretende gerar estão a redução dos custos sócio-ambientais dos projetos de desenvolvimento regionais, a garantia do abastecimento futuro, a otimização do processo de gestão ambiental, a melhoria da qualidade de vida, aspectos entre outros, fundamentais para a longa caminhada rumo a uma sociedade econômica, social e ambientalmente justa, enfim, sustentável (OLIVEIRA, 1995).

Quanto ao Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Pardo pode-se dizer que a atuação da CETESB como coordenadora de câmaras tem solicitado obras, serviços e projetos que são analisados, pontuados e priorizados para obtenção de verbas do FEHIDRO, no período de setembro de 1996 a setembro de 1998.

Projetos têm sido realizados no sentido de trazer benefícios ao ambiente e à sociedade. Quanto aos projetos aprovados, às obras e serviços têm-se os seguintes resultados:

- 03 municípios contemplados - tratamento de esgotos;
- 02 municípios contemplados - tratamento de água;
- 02 municípios contemplados - redes de água e esgotos;
- 01 município contemplado - canalização de córrego;
- 02 municípios contemplados - coleta e disposição de lixo;
- 01 associação contemplada - produção de mudas para recomposição de matas ciliares;
- 01 secretaria municipal - educação ambiental (abrangente a toda a bacia).

São 24 municípios que integram o CBH do rio Pardo. A variedade e intensidade dos problemas globais enfrentados representam sério desafio às instituições existentes e aos métodos dos quais fazem uso, atualmente, para administrá-los. Estão elas e seus programas e práticas adequados para lidar com os problemas ambientais ?

Por outro lado, tem-se hoje um grande número de opções interessantes para melhorar a administração ambiental, incluindo o consórcio e apoio de organizações internacionais, empreendimentos privados e organizações não governamentais.

Pode-se citar algumas áreas de conhecimento, nas quais idéias e métodos inovadores podem melhorar o gerenciamento dos problemas globais e atingir um progresso em direção a um desenvolvimento econômico e social sustentável. São elas: ciência; tecnologia; educação; valores e padrões éticos; contabilidade dos recursos naturais; governo; incentivos econômicos; capacidade de gerenciamento; organizações internacionais; indústria e organizações não governamentais (CORSON, 1993).

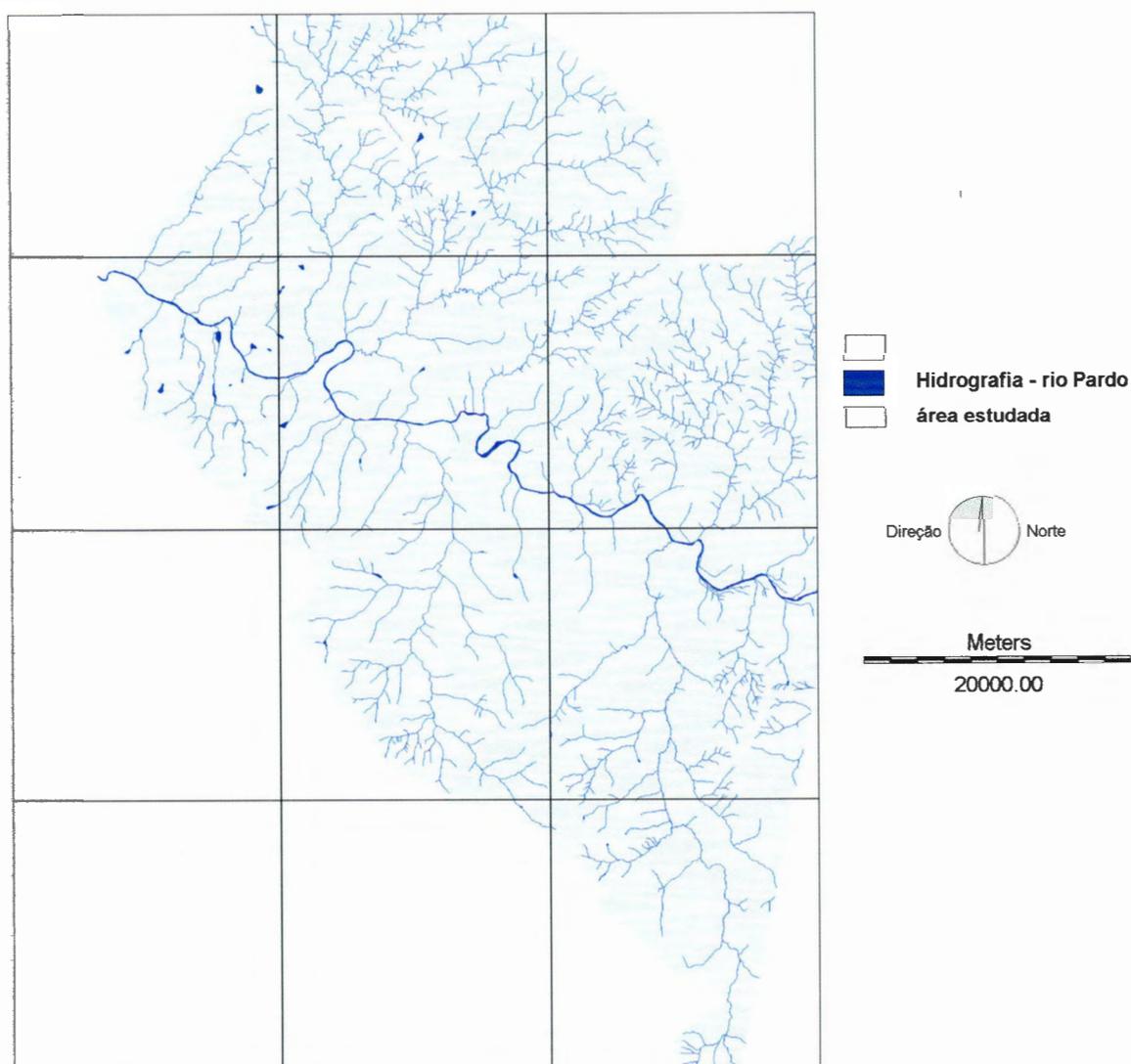
5.3 MAPAS DIGITALIZADOS E PROCESSADOS POR SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os mapas temáticos necessários ao estudo da qualidade da água do trecho do rio Pardo foram obtidos pela digitalização das cartas como cita a metodologia. São eles: mapa de hidrografia, declividade, pedologia e suscetibilidade à erosão.

5.3.1 Mapa de Hidrografia

A hidrografia referente ao trecho estudado pode ser observada na figura 5.7. A bacia de drenagem apresenta-se bem distribuída sendo que o rio principal é o Pardo, o qual nasce em Minas Gerais como já especificado na metodologia, e ao se juntar com o rio Mojiguaçu torna-se um dos principais afluentes do rio Grande. O relevo suave ondulado funciona como divisor de águas entre os rios Mojiguaçu e Pardo.

O comportamento hidrológico dos rios desta bacia está em estreita relação com o regime pluviométrico. Apresentam, também, uma série de quedas d'água e ainda a presença de alguns reservatórios, principalmente a jusante do município de Ribeirão Preto. Este mapa foi de grande importância ao trabalho, pois o objeto de estudo foi o rio Pardo. Devido à isto foi sobreposto à todos os outros mapas, utilizando-se como referência os pontos do rio Pardo onde os afluentes deságuam.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.7: Mapa de hidrografia da área em estudo.

5.3.2 Mapa de Classes de Declividade

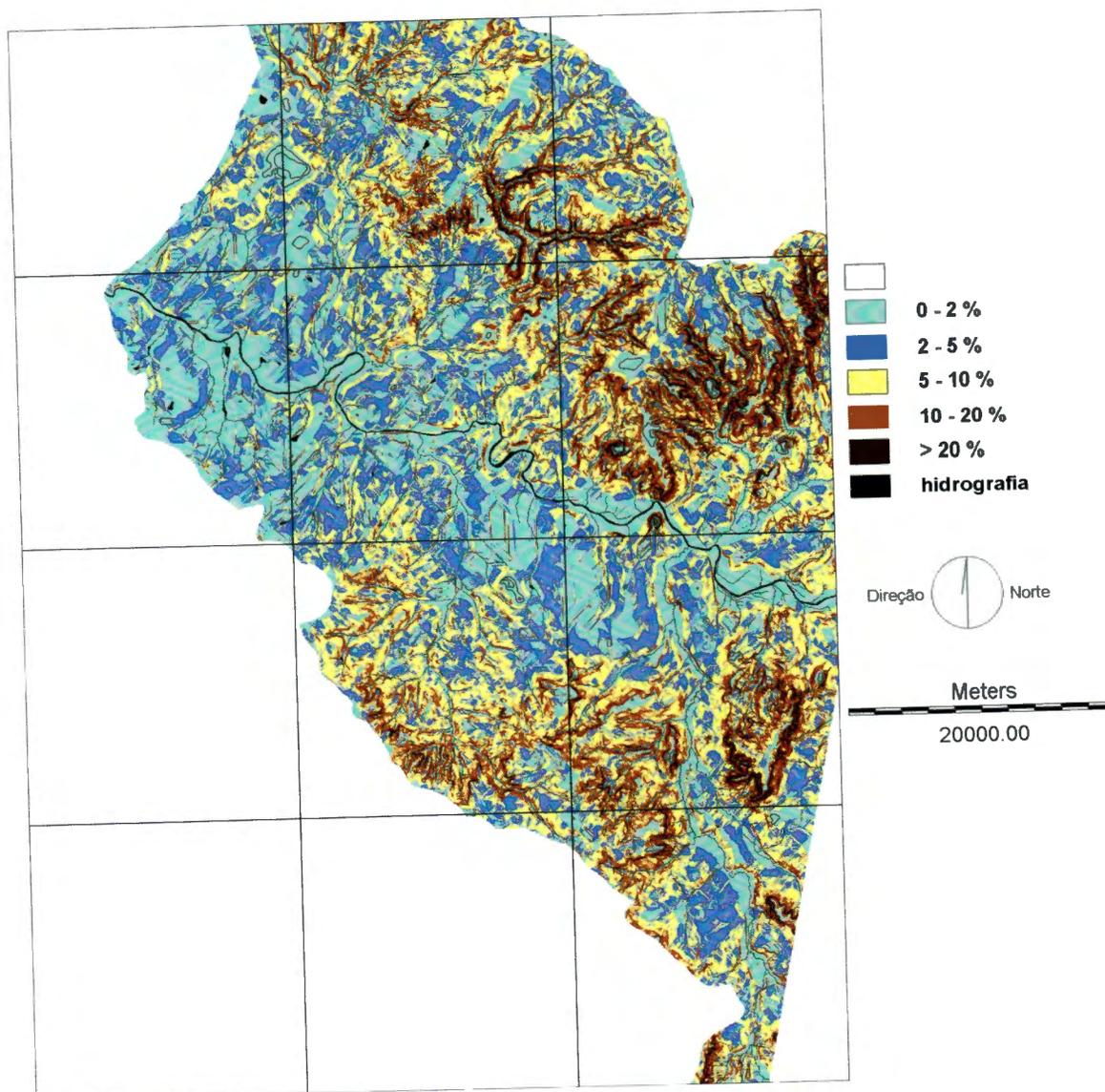
O mapa representando as classes de declividade da região em estudo está representado na figura 5.8. Foram estabelecidas cinco classes de declividade: 0 – 2%, 2 – 5 %, 5 – 10 %, 10 – 20 % e > 20%, baseando-se na literatura, e no módulo HISTO do IDRISI. No entanto, não é possível obter com precisão as classes escolhidas porque pela escala do mapa perde-se a precisão. Este mapa é bastante relevante ao estudo, considerando-se que a declividade é um dos fatores que mais influi no processo de escoamento superficial, isto é, no transporte de nutrientes até os cursos d'água.

O relevo da região apresenta-se levemente ondulado, predominando as baixas declividades. Este fato justifica a divisão das classes, atribuindo-se intervalos menores entre as classes representando baixas declividades e intervalos maiores entre as classes que representam declividades médias. As declividades mais altas, isto é, acima de 20% foram enquadradas em uma única classe já que raramente aparecem na região.

Ao analisar a tabela 5.32 percebe-se a distribuição das classes de declividade em relação à área de estudo. Há predomínio das três primeiras classes que possuem áreas equivalentes, enquanto a área da classe representando altas declividades é bastante reduzida. Vale lembrar que a classe 0 - 2 % representa essencialmente solos hidromórficos.

Tabela 5.32: Áreas das classes de declividade.

Classe de declividade	Área (km ²)	Área (%)
0 – 2 %	669	27
2 – 5 %	655	26
5 – 10 %	713	29
10 – 20 %	331	13
> 20 %	116	5
TOTAL	2.484	100



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.8: Mapa de classes de declividade da área em estudo.

5.3.3 Mapa Pedológico

O mapa pedológico foi construído baseando-se na carta de solos do estado de São Paulo, cuja escala é 1:500.000 (figura 5.9). Para a região de Ribeirão Preto encontra-se a carta 1:100.000, porém, a área de estudo abrange outros municípios, cujas cartas pedológicas nesta escala não existem.

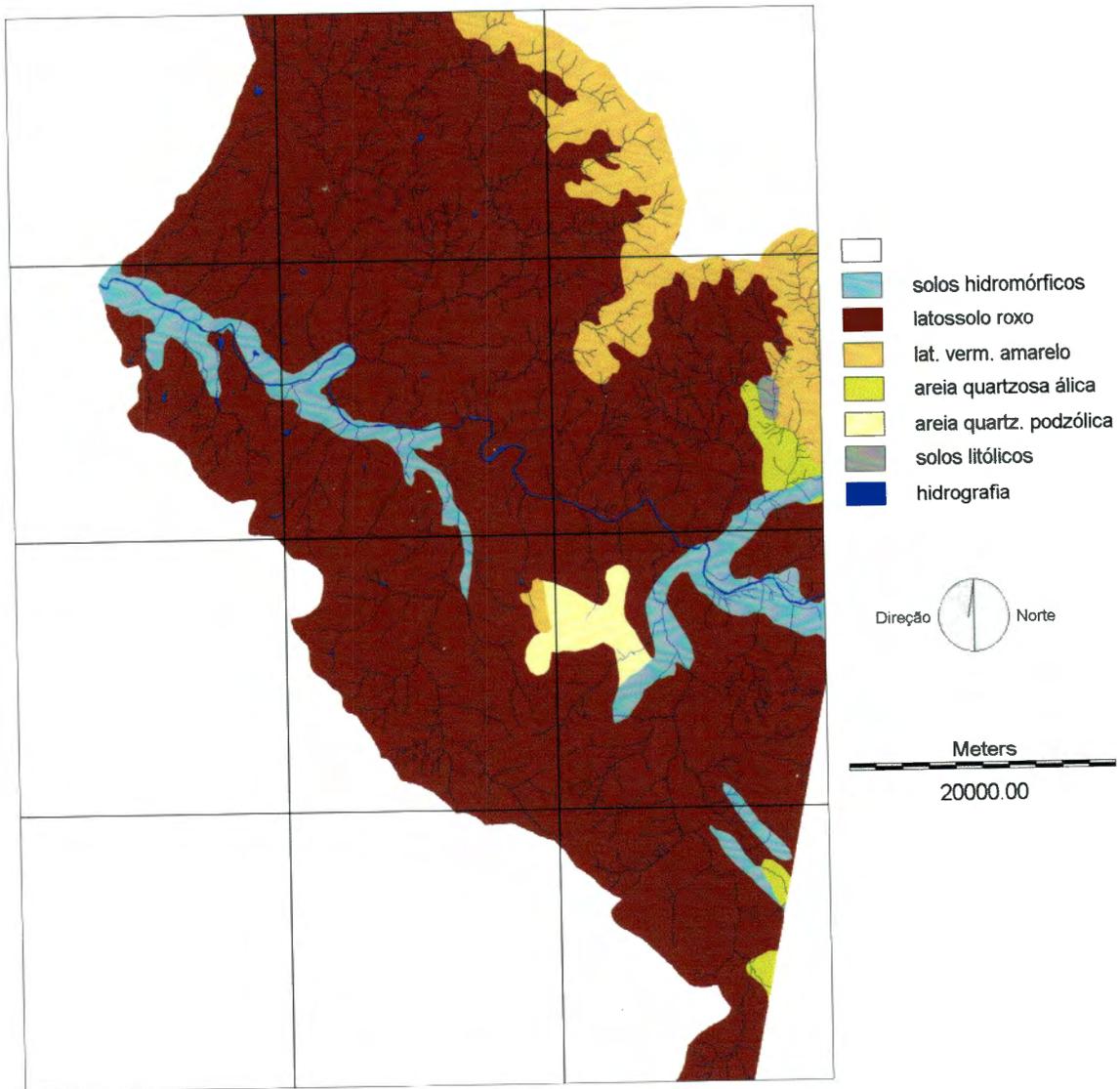
Devido à este problema o nível de detalhamento deste mapa ficou prejudicado em relação aos mapas de hidrografia e declividade que foram digitalizados na escala 1:50.000 e por esta razão foi realizado um estudo comparativo das escalas 1:100.000 e 1:500.000.

O tipo de solo predominante na região é o latossolo roxo, com o aparecimento de latossolo vermelho amarelo, areia quartzosa (álica e podzólica distrófica), solos litólicos e solos hidromórficos. A tabela 5.33 mostra a área de cada tipo de solo no trecho estudado.

Segundo OLIVEIRA e PRADO (1987), os solos da unidade Ribeirão Preto pertencem à classificação Latossolo Roxo eutrófico, textura argilosa ou muito argilosa. São solos profundos, bastante friáveis e com fraco desenvolvimento de macroestrutura no horizonte B. São também ligeiramente ácidos, com pH médio de 5,9 na camada superficial e 6,2 na subsuperficial. O teor médio de carbono é elevado e o de ferro fica em torno de 23%. São, portanto, solos com propriedades físicas e químicas muito boas e conseqüentemente apresentam grande potencial agrícola.

Tabela 5.33: Áreas dos tipos de solos.

Tipo de solo	Área (km ²)	Área (%)
Solos hidromórficos	169	6,8
Latossolo roxo	2.044	82,2
Latossolo verm. amarelo	202	8,2
Areia quartzosa álica e podzólica distrófica	65	2,6
Solos litólicos	4	0,2
Total	2.484	100



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

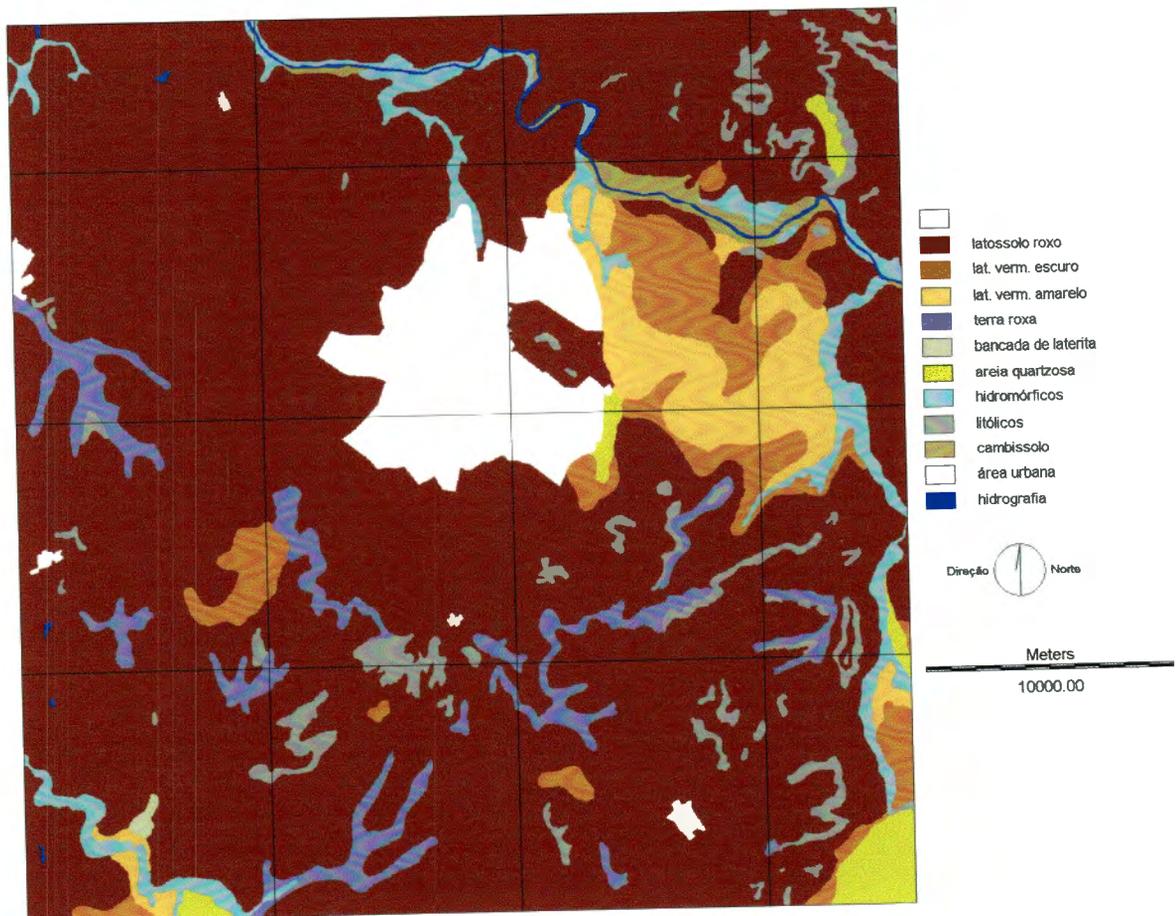
Figura 5.9: Mapa de pedologia da área em estudo .

O estudo de comparação de escalas foi realizado com o intuito de demonstrar o quanto se perde de detalhamento ao passar de uma escala para outra. Para tal, foi utilizado o mapa de pedologia, quadrícula de Ribeirão Preto 1:100.000, digitalizado por FONTES (1997) (figura 5.10). A mesma área foi recortada do mapa 1:500.000, representada na figura 5.10, utilizando-se o módulo WINDOW do IDRISI (figura 5.11). O tamanho do *pixel* é de 30 x 30 m e as coordenadas limites são: 190.000 mE, 226.000 mE, 7634.000 mN e 7670.000 mN como já mencionado na metodologia. Também foi feita uma máscara para as áreas urbanas e hidrografia, sendo sobreposta a ambos os mapas, ficando desta forma a mesma área de comparação para os mesmos.

Dirigindo-se à tabela 5.34 nota-se que em relação aos solos hidromórficos, latossolo roxo e areia quartzosa houve, no mapa 1:500.000 uma supervalorização de áreas enquanto alguns tipos de solos que aparecem na escala 1:100.000 foram ignorados pela escala 1:500.000, como é o caso da terra roxa, latossolo vermelho escuro, bancada de laterita, solos litólicos e cambissolos. Essas diferenças, observadas em mapas construídos por cartas em escalas diferentes podem ter grande significado, dependendo do objetivo do estudo, e desta forma mudar radicalmente os seus resultados.

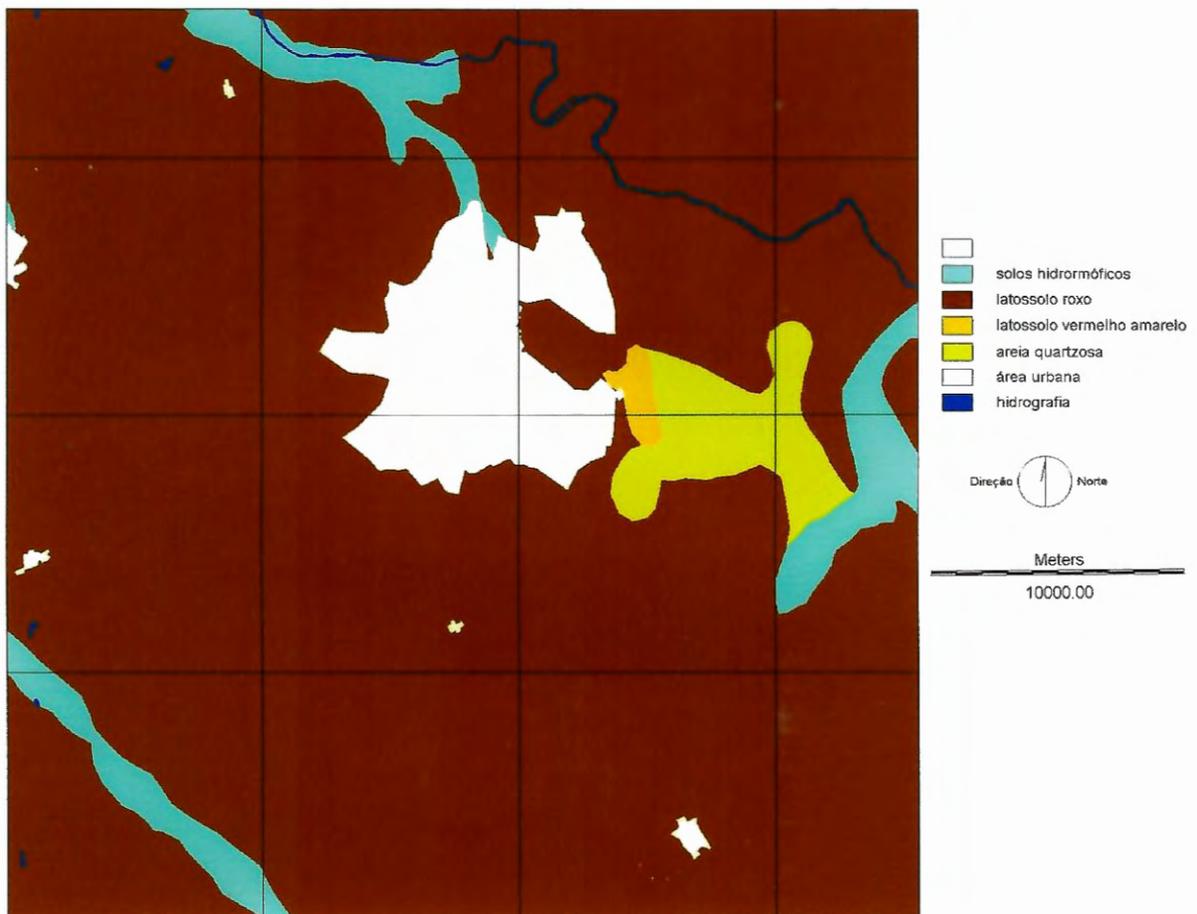
Tabela 5.34: Comparação das áreas dos tipos de solos em escala 1:100.000 e 1:500.000.

Tipo de solo	Escala 1:100.000		Escala 1:500.000	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Latossolo Roxo	939	72	1.101	85
Latos. Verm. Escuro	62	5	-	-
Latos. Verm. Amarelo	49	4	5	0,4
Terra Roxa	49	4	-	-
Bancada de Laterita	1	0,10	-	-
Areia Quartzosa	17	1,3	37	3
Solos Hidromórficos	43	3,2	67	5,2
Cambissolo	10	1	-	-
Solos Litólicos	40	3	-	-
Áreas Urbanas	81	6	81	6
Hidrografia	5	0,4	5	0,4
TOTAL	1.296	100	1.296	100



Coordenadas (UTM):190.000mE, 226.000mE, 7634.000mN e 7670.000mN.

Figura 5.10: Mapa de pedologia da quadrícula de Ribeirão Preto na escala 1:100.000 (FONTES, 1997).



Coordenadas (UTM): 190.000mE, 226.000mE, 7634.000mN e 7670.000mN.

Figura 5.11: Mapa de pedologia equivalente à quadricula de Ribeirão Preto na escala 1:500.000.

5.3.4 Mapa de Suscetibilidade à Erosão

O impacto da gota de chuva na superfície do terreno promove a desagregação das partículas constituintes do solo e o escoamento da água no terreno, conduzindo à erosão propriamente dita.

O escoamento das águas de chuva ao longo das encostas pode realizar-se sob a forma laminar difusa, ou por concentração de linhas de fluxo, formando sulcos na superfície do terreno, que podem evoluir, por aprofundamento, a ravinas. Se os processos erosivos desenvolverem-se, não somente pelo escoamento das águas superficiais, mas também pela influência do lençol freático, configura-se o fenômeno de boçoroca.

Dessa maneira, existem diferenças nos processos de evolução e desenvolvimento de ravinas, se comparados às boçorocas. As diferenças são impostas pelas condições do meio físico (solos, relevo e substrato), que se resumem na presença e no comportamento do lençol freático (IPT, 1990).

Os condicionantes naturais ao desenvolvimento de ravinas e boçorocas são a base teórica para a definição de áreas suscetíveis à erosão. No entanto, são o uso e a ocupação do solo pelas atividades sócio-econômicas que vão potencializar e deflagrar o aparecimento dessas formas de erosão aceleradas.

A substituição da vegetação natural por coberturas vegetais de menor porte, ou mesmo a desnudação do solo, diminui ou elimina a interceptação das gotas de chuva. Como conseqüência, maior quantidade de água chega diretamente ao solo, aumentando o potencial de escoamento superficial.

A diminuição da cobertura vegetal propicia ainda um incremento no impacto das gotas de chuva sobre o solo. O impacto direto desagrega a camada superficial do solo, formando uma película mais impermeável que o solo original. Essa película superficial (crosta) contribui também para o aumento do escoamento superficial.

Os desmatamentos indiscriminados afetam não somente as encostas, mas também as margens dos cursos d'água. O escoamento superficial intensificado provoca um aporte d'água maior e mais rápido, causando

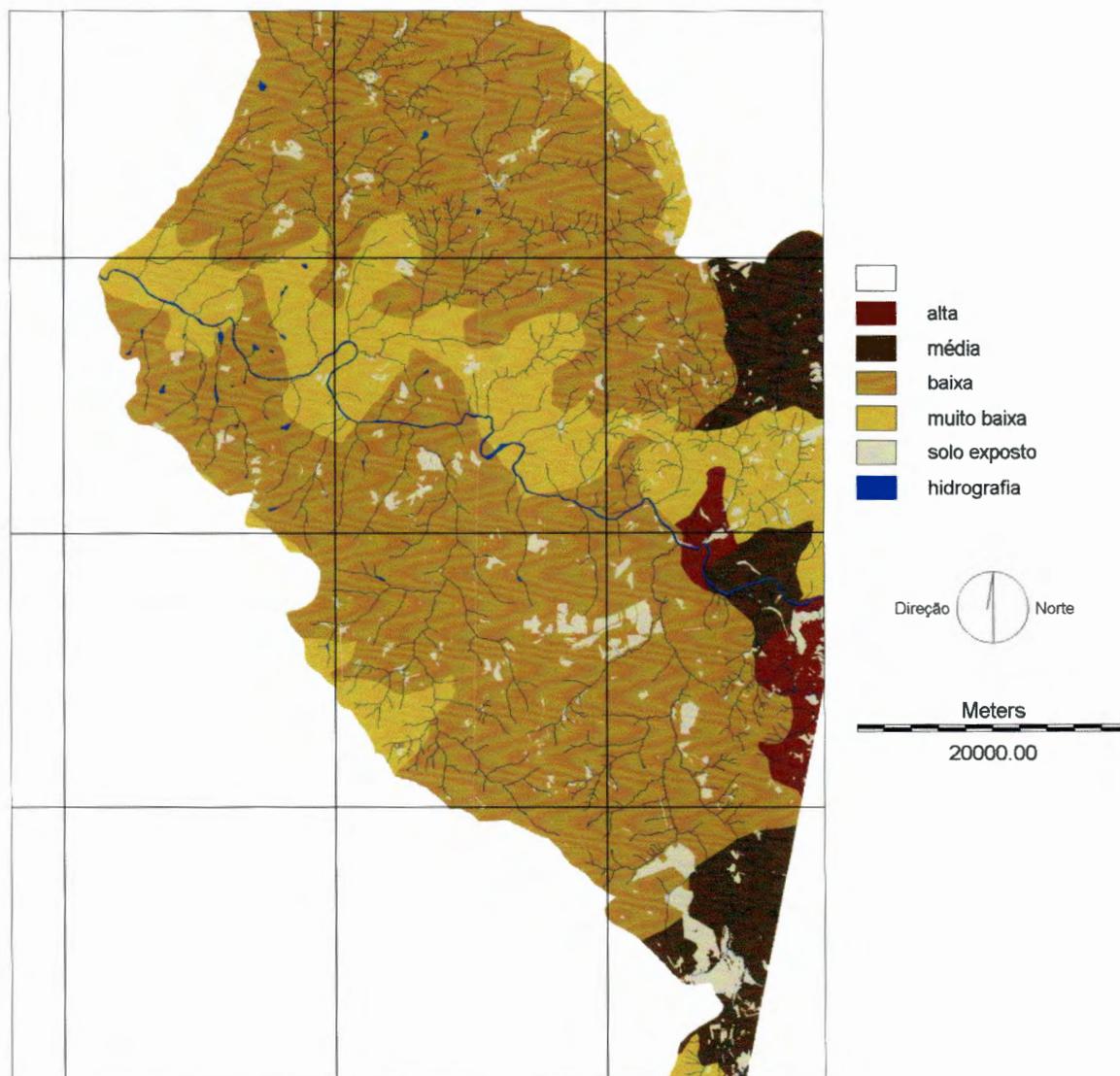
alargamento e aprofundamento das calhas dos rios. Barrancos e meandros são escavados e destruídos, provocando erosões de grande porte nos fundos dos vales. A longo prazo, a intensificação do escoamento superficial carrega grandes quantidades de solo, que acabam assoreando essas mesmas drenagens.

Pode-se observar, porém, que o processo erosivo contribui bastante com o transporte de nutrientes até os rios, com conseqüente poluição. Portanto, é de grande relevância, no presente estudo, considerá-lo juntamente com a declividade e uso e ocupação do solo.

Para tal foi construído um mapa de classes de suscetibilidade à erosão para a região de estudo (figura 5.12), digitalizando-se parte do mapa de suscetibilidade à erosão por ravinas e boçorocas na escala 1:250.000, obtido no projeto Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi-Pardo e Médio Grande (IPT, 1990).

A esse mapa foi sobreposto o mapa de solos expostos obtido a partir da imagem de satélite de 1997. Dessa forma, é possível observar também as áreas de solo exposto e a coincidência com as classes de suscetibilidade à erosão, já que estes são um fator agravante no processo de erosão.

Ao verificar a tabela 5.35, nota-se que predominam áreas com baixa suscetibilidade à erosão sendo que o latossolo roxo e declividade baixa impedem o processo intenso da mesma. No entanto, há pequenas áreas onde a suscetibilidade é média (9,5%) e outras mais reduzidas, cuja suscetibilidade é alta (2,5%). As maiores manchas de solos expostos coincidem com as classes de suscetibilidade baixa e média, aparecendo áreas menores nas classes de suscetibilidade muito baixa e alta.



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.12: Mapa de suscetibilidade à erosão indicando áreas de solos expostos.

Tabela 5.35: Classes de suscetibilidade à erosão.

Tipos de solos	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	476	19
Baixa	1.708	69
Média	235	9,5
Alta	65	2,5
Total	2.484	100
Solos expostos	114	5

5.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo ALVES (1997), para situar-se no contexto dos conceitos e paradigmas de sustentabilidade, o planejamento da ocupação do espaço geográfico deve basear-se no reconhecimento das potencialidades e fragilidades dos fatores físicos, biológicos e antrópicos que compõem o meio ambiente frente às características e especialidades das atividades a serem acomodadas.

Para que a situação da água de um determinado curso d'água possa ser avaliada, torna-se necessário um estudo da ocupação e uso da terra nos entornos, já que este fator estará diretamente influenciando a qualidade da mesma.

A presente pesquisa utilizou, portanto, imagens de satélite de 1985 e 1997 para verificar o processo evolutivo de uso e ocupação do solo e sua possível influência na qualidade da água no trecho do rio Pardo em estudo, ressaltando-se pois, a expansão de áreas urbanas, a expansão da cana-de-açúcar (cultura predominante na área) e a redução da vegetação natural, como será apresentado e discutido a seguir.

5.4.1 Imagens de Satélite de 1985 e 1997

As imagens obtidas pelo satélite LANDSAT-5/TM, classificadas e georreferenciadas, referentes ao uso e ocupação da solo na região em

estudo, podem ser observadas nas figuras 5.13 e 5.14 para 1985 e 1997, respectivamente. Foram obtidas nove classes de uso do solo: reflorestamento, vegetação natural, campo e cultura menos significativa, cana-de-açúcar, área urbana, solo exposto, hidrografia, queimada e áreas desconsideradas (nuvem e sombra de nuvem). Para uma melhor visualização foi construída a tabela 5.36 que apresenta a área destas classes para ambos os anos, permitindo uma comparação entre elas.

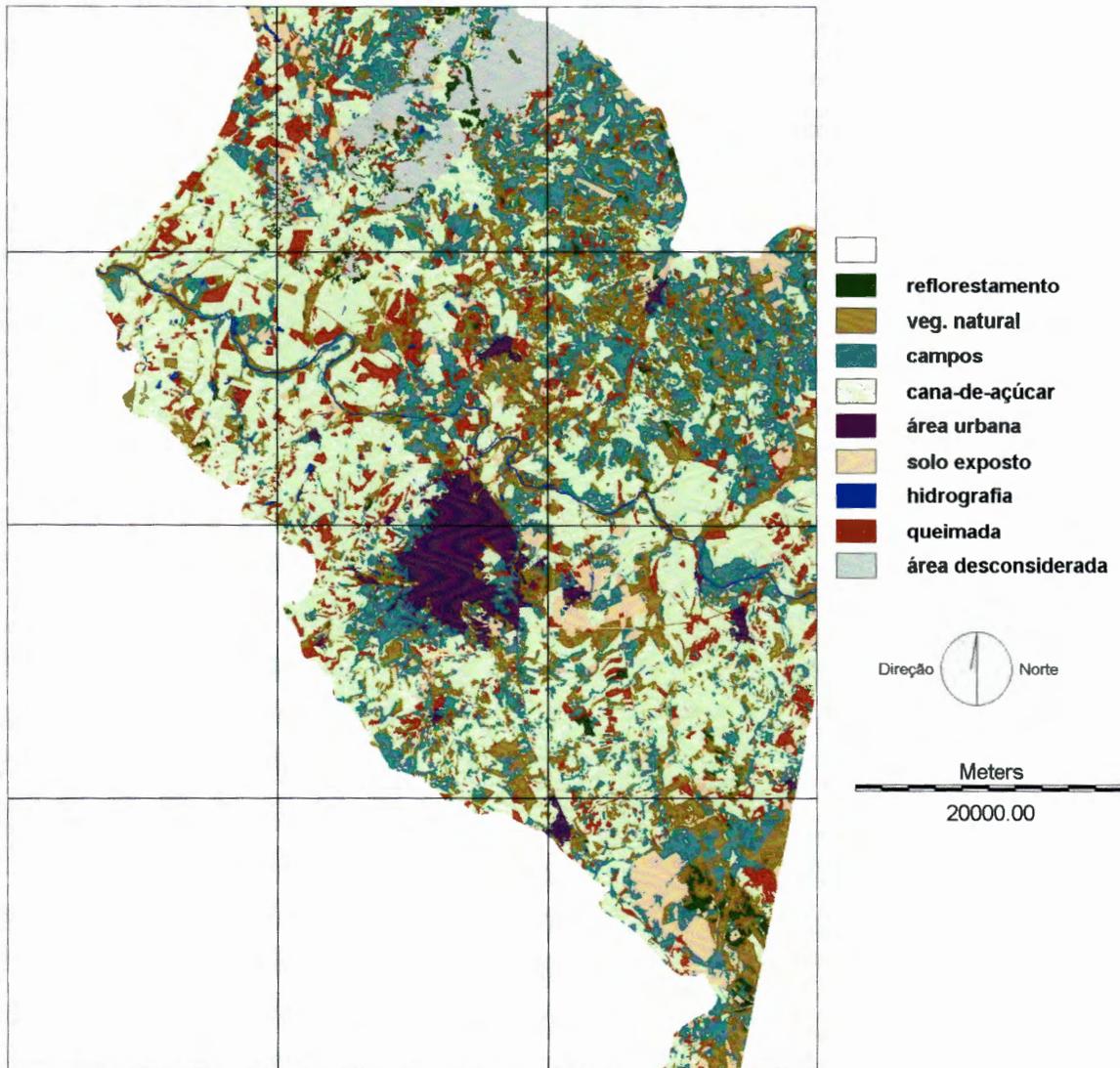
Tabela 5.36: Comparação das áreas dos usos do solo de 1985 e 1997.

Usos	Área em 1985		Área em 1997	
	km ²	%	km ²	%
Reflorestamento	37	1,5	32	1
Vegetação natural	445	18	226	9
Campos	528	21	230	9
Cana-de-açúcar	944	38	1.268	51
Área urbana	85	3,5	216	9
Solo exposto	148	6	113	4,5
Queimada	189	7,5	291	12
Hidrografia	15	0,5	15	0,5
Área desconsiderada	93	4	93	4
TOTAL	2.484	100	2.484	100

Observando as imagens de uso e ocupação do solo de 1985 e 1997 e a tabela 5.36, pode-se dizer, em princípio, que há indícios de degradação ambiental ao longo do período considerado.

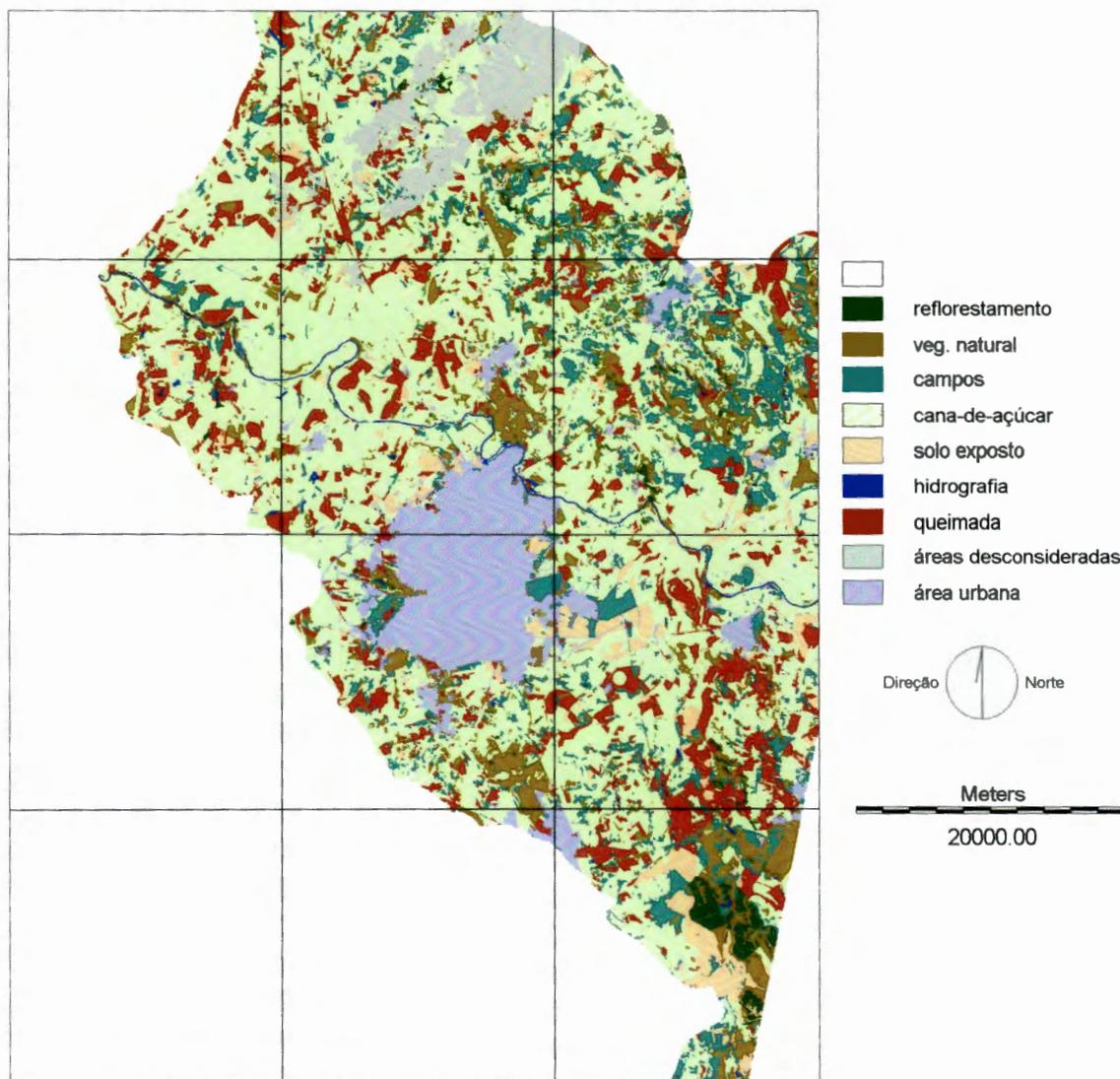
Primeiramente, observa-se um crescimento significativo da área urbana dos municípios pertencentes à região do Médio Pardo. Um outro fato é a diminuição da área de campo e solo exposto enquanto houve grande aumento da área ocupada por cana-de-açúcar, o que realmente ocorreu neste período, devido a intensificação do cultivo da mesma acompanhando os processos econômicos. Como consequência da expansão urbana e da cana-de-açúcar houve uma redução da área referente à vegetação natural. Quanto à área reflorestada, houve uma pequena redução e de maneira bastante esparsa. A área relativa à queimada aumentou visivelmente, fato explicado pelas queimadas da cana-de-açúcar, predominantes na região.

Vale ressaltar que, as classes das imagens de uso e ocupação do solo foram conferidas em campo com auxílio de GPS, tomando-se algumas



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.13: Mapa de uso e ocupação do solo – 1985.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.14: Mapa de uso e ocupação do solo – 1997.

áreas como amostra, de forma dispersa, pois há uma margem de erro na detecção feita pelo satélite confundindo determinadas classes entre si. Portanto, não foi possível determinar a porcentagem destes erros devido à metodologia aplicada na classificação das imagens.

Uma outra forma de visualização do processo evolutivo de 1985 para 1997 é a obtenção de uma única imagem representando ambas as situações e isto pode ser feito utilizando-se o módulo CROSSTAB do IDRISI. A propósito, este módulo permite mostrar áreas de transformação de um ano para o outro. O mapa síntese obtido está representado na figura 5.15.

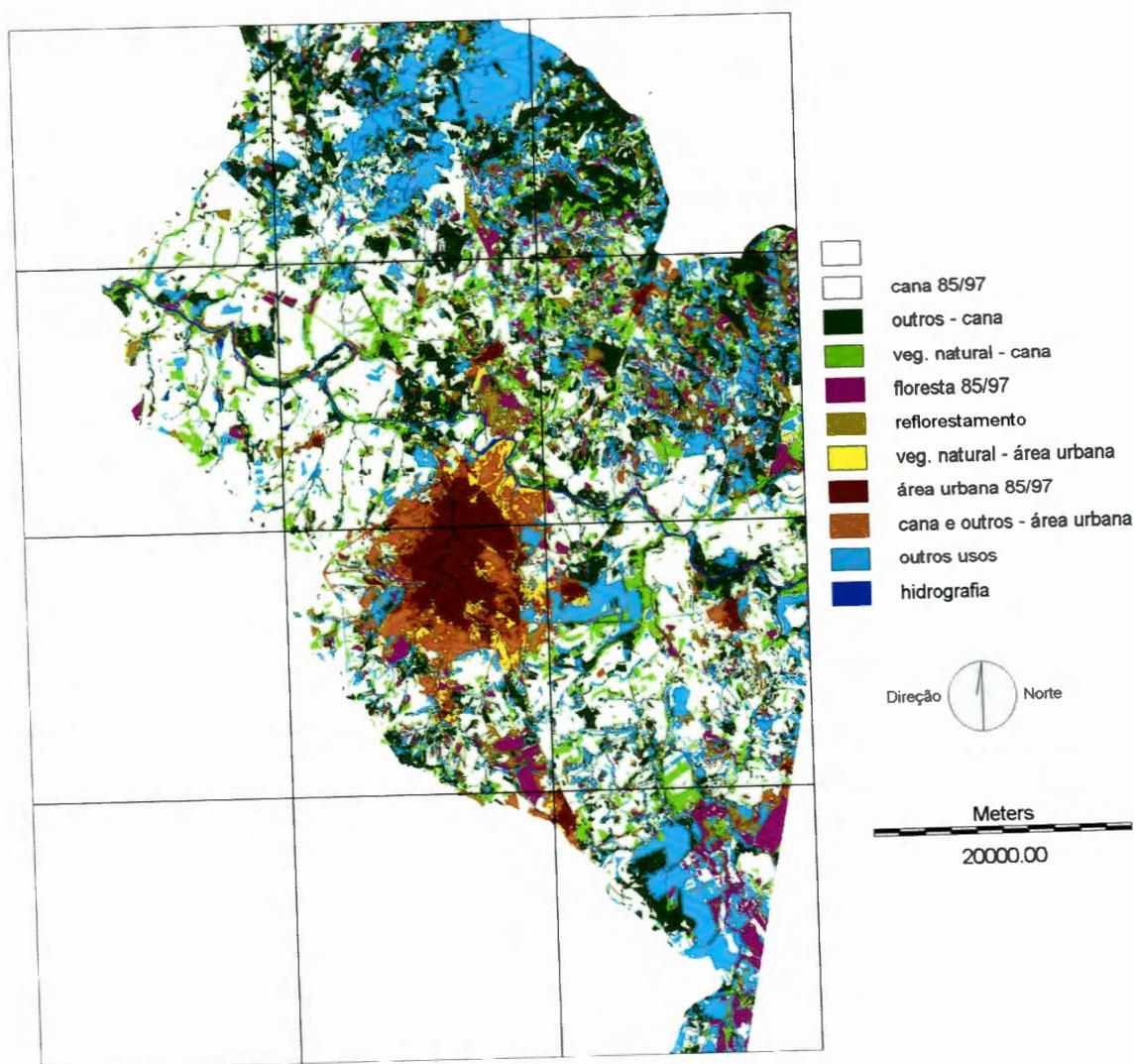
A partir do mapa síntese de uso e ocupação do solo, percebe-se ainda que no processo de urbanização crescente, áreas de vegetação natural foram perdidas para áreas urbanas assim como áreas de cana-de-açúcar entre outras que apareciam em 1985, em 1997 aparecem também como áreas urbanas, principalmente no município de Ribeirão Preto.

A expansão da cana-de-açúcar é evidente, como já citado anteriormente, e nesta figura nota-se que áreas ocupadas no ano de 1985 por vegetação natural, em 1997 foram tomadas por cana-de-açúcar, inclusive áreas margeando o rio Pardo entre outros rios e suas nascentes, significando que nestas áreas ocorreu o desmatamento das matas ciliares. Por outro lado, ocorreu uma invasão de terras pela cana-de-açúcar antes ocupadas por outros tipos de usos além de vegetação natural, porém em menor escala.

A área representando reflorestamento em 1997 é bastante pequena em relação à área total de estudo e é constituída principalmente por *Eucalyptus* e *Pinus*. Algumas áreas não foram consideradas no momento já que referem-se a nuvem, sombra de nuvem captadas pelo satélite, entre outros usos menos significantes para esta discussão.

Finalmente, os resultados obtidos pelas imagens de satélite indicam que ao longo destes doze anos pode estar ocorrendo degradação da qualidade da água, considerando-se que a retirada da vegetação natural, incluindo matas ciliares, torna o solo suscetível à erosão. Além disso, a

quantidade de insumos agrícolas aplicada e de resíduos de usinas e destilarias produzida é proporcional à área de cultivo de cana-de-açúcar.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.15: Mapa síntese da evolução do uso e ocupação do solo de 1985 para 1997.

Esses fatores provocam um aumento no aporte de nutrientes que chegam aos rios, principalmente, quando a área ocupada por cana-de-açúcar está próxima dos mesmos, como observado na carta síntese.

5.4.2 Expansão Urbana

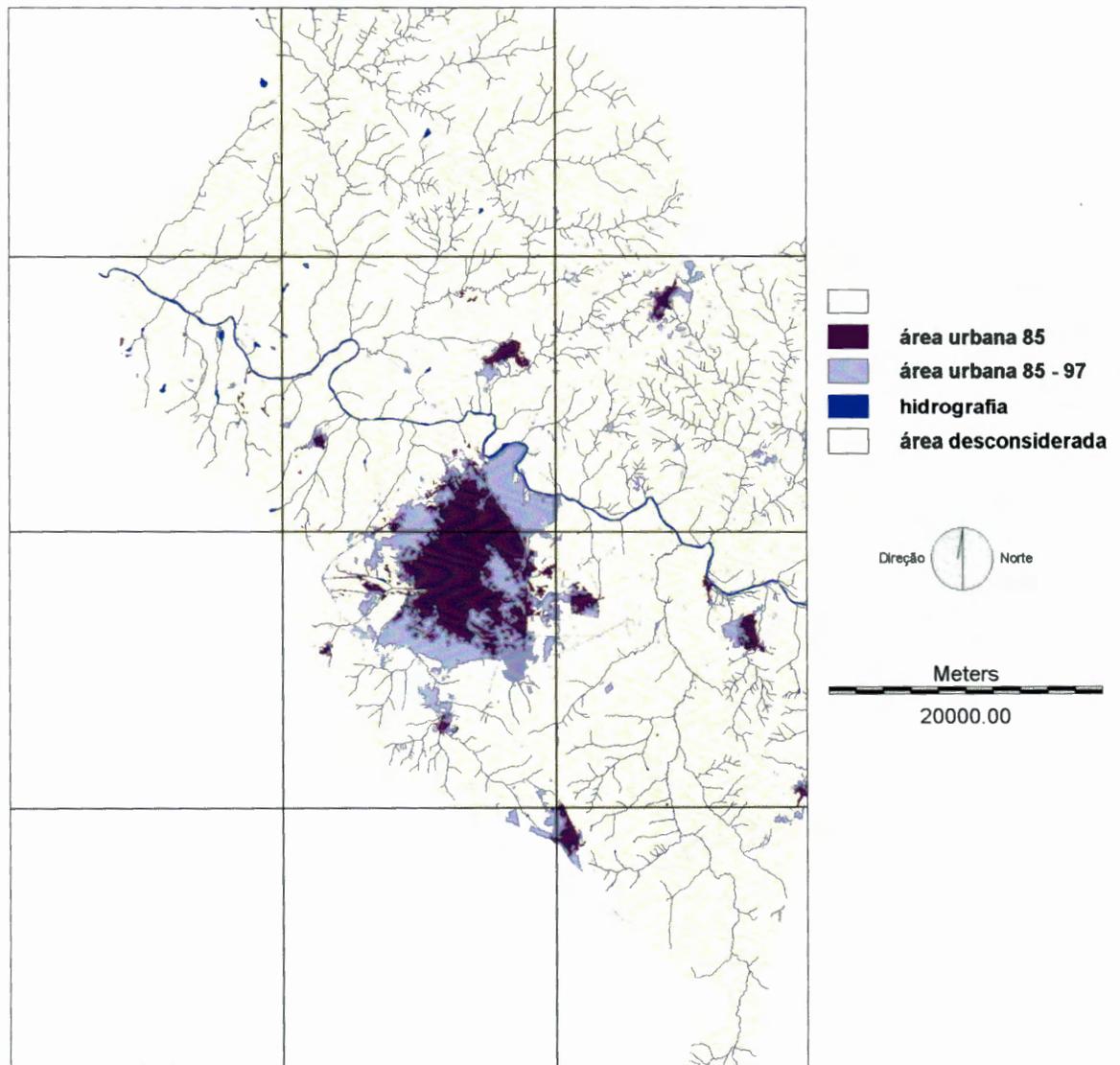
A expansão urbana foi desencadeada pelo rápido crescimento populacional, melhoramento nos sistemas de transportes e comunicações, revolução industrial e aplicação de métodos científicos à agricultura.

Quanto ao desenvolvimento da agricultura, este foi gerado pela utilização de novas tecnologias, originando os excedentes de mão-de-obra. Estes por sua vez, foram transferidos por empresários e governos para o setor industrial e, como resultado, houve um aumento da população urbana devido a demanda de mão-de-obra dos setores industrial, comercial e de serviços, que se encontrava em grande expansão (FONTES, 1993).

Utilizando-se as imagens de 1985 e 1997, assim como o módulo GROUP do IDRISI, foi possível construir um mapa mostrando apenas a expansão urbana (figura 5.16). Este módulo permite homogeneizar áreas, visto que na imagem captada pelo satélite havia algumas áreas insignificantes dentro do campo urbano indicando outros usos. Em seguida, foi utilizado o módulo CROSSTAB para unir as duas imagens, 1985 e 1997 em uma apenas, para se observar o processo evolutivo.

Tomando como exemplo, na região em estudo, a cidade de Ribeirão Preto, por ser a de maior porte, pode-se observar um aumento bastante significativo nas áreas referentes aos anos de 1985 para 1997. A expansão urbana avança em todas as direções, portanto, já atingia em 1997 as margens do rio Pardo, o que é um indício de poluição das águas do mesmo.

Os outros municípios pertencentes à região de estudo, também apresentaram crescimento de área urbana e alguns pequenos distritos foram criados em função da expansão da cana-de-açúcar na região, como é o caso de Cruz das Posses e Cândia.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.16: Mapa da expansão urbana de 1985 para 1997 na região em estudo.

Contudo, nestes locais a população é flutuante e oscila de acordo com a época do ano, enfrentando problemas sociais e econômicos, reflexo do modo de produção sucroalcooleiro.

Esta situação ilustra, portanto, o contraste do padrão de vida das pessoas que habitam os centros urbanos, principalmente, Ribeirão Preto e as que habitam a periferia e distritos. Na primeira, há uma concentração de renda sob o poder dos grandes produtores agrícolas, dos industriais, entre outros, enquanto os trabalhadores rurais trabalham em condições precárias, com um salário injusto, sem direito à habitações com infra-estrutura adequada, educação para os filhos e garantia de emprego, sendo explorados e colocados à parte pelo sistema econômico implantado.

5.4.3 Expansão da Cana-de-açúcar

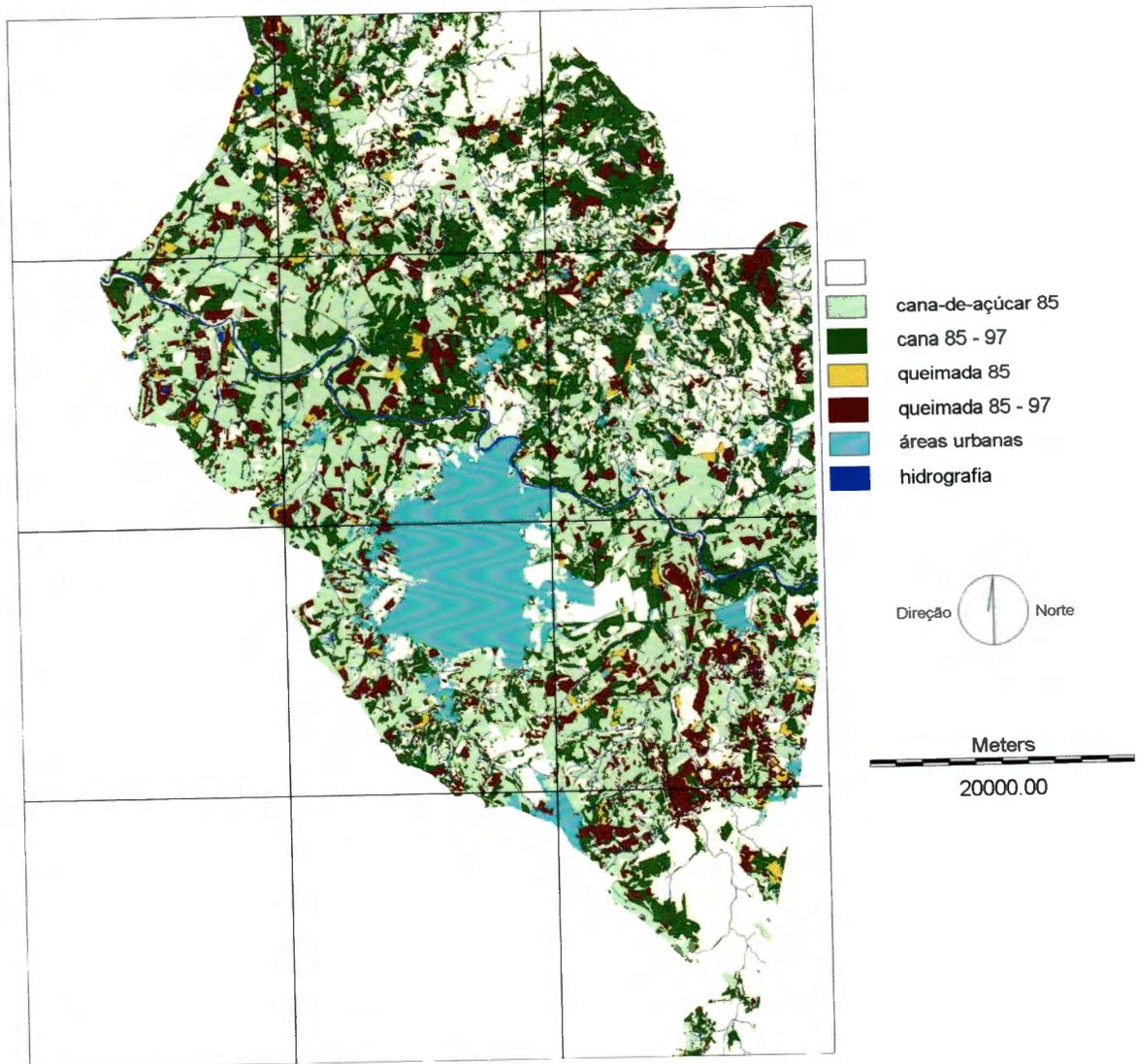
Dos fatores analisados até o momento, talvez a expansão da cultura de cana-de-açúcar seja o fator que mais contribuiu para a degradação da qualidade da água no período estudado, por não ter sido adotadas técnicas de manejo e previsão de impactos da mesma cultura. Portanto, esta situação será analisada neste item.

Para tal, foi obtido um mapa por meio das imagens de satélite e do módulo CROSSTAB, demonstrando ao mesmo tempo a situação da cana-de-açúcar, bem como das queimadas em 1985 e 1997 (figura 5.17).

Ao analisar essa figura, observa-se que a cultura da cana-de-açúcar já se encontrava distribuída por toda a região de estudo e ocupando grande parte desta em 1985. A expansão de 1985 para 1997 também foi representativa, principalmente, na parte norte do rio Pardo e nas margens do mesmo, coincidindo com a retirada das matas ciliares, como foi mostrado anteriormente. Quanto às queimadas detectadas pelo satélite, tanto para 1985 como para 1997, há grande possibilidade de ser área de cultivo de cana-de-açúcar devido às imagens terem sido obtidas em época de safra.

Percebe-se ainda que em 1997 os focos de queimadas são maiores que os de 1985, indicando novamente a expansão dessa cultura. Estas

áreas podem ser encontradas, comparativamente, na tabela 5.33 e na figura 5.18.



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.17: Mapa da expansão da cana-de-açúcar e queimadas de 1985 para 1997.

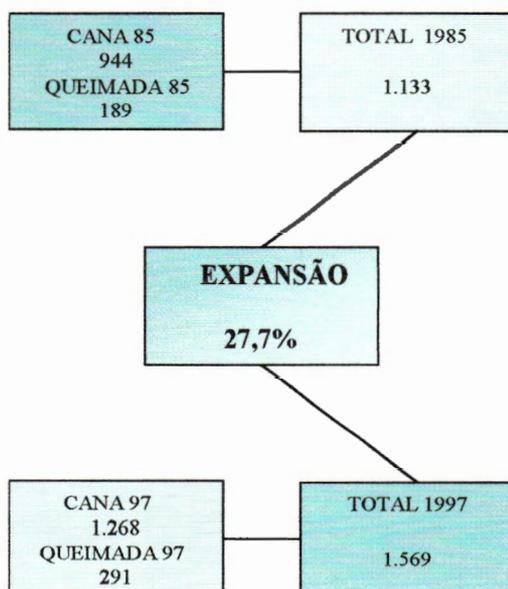


Figura 5.18: Expansão da área (km²) e percentual da cana-de-açúcar de 1985 para 1997.

Em relação à área total de estudo a figura 5.19 ilustra, em percentual, a área de cultivo de cana-de-açúcar em 1985 e 1997, considerando-se as queimadas como área de cultivo de cana-de-açúcar.

É importante destacar que mais da metade das terras em estudo encontravam-se ocupadas em 1997 por cultivo de cana-de-açúcar. Dessa forma, se não houver um planejamento adequado para o uso e ocupação da terra, redução da utilização de insumos agrícolas entre outras medidas mitigadoras, visando a proteção dos cursos d'água, os usos múltiplos a que se destinam podem ficar comprometidos, prejudicando a saúde e bem-estar da população.

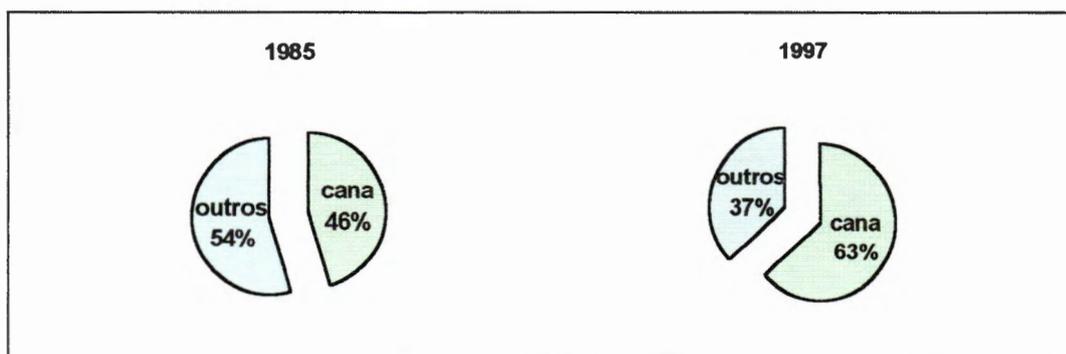


Figura 5.19: Porcentagem de cana-de-açúcar em relação à área total de estudo.

Um outro aspecto a ser abordado é o fato da cidade de Ribeirão Preto, a maior da região, estar cercada pela cultura de cana-de-açúcar. Pela visita a campo, observou-se extensas áreas de plantação de cana-de-açúcar se estendendo até o horizonte avistado (figuras 5.20 e 5.21). Como conseqüência, surgem vários problemas para a população como, por exemplo, aumento da temperatura local devido à falta de vegetação natural para absorção dos raios solares, doenças respiratórias pela fuligem das queimadas e diminuição da umidade do ar, mau cheiro provindo da vinhaça lançada na cultura da mesma, trânsito de treminhões nas estradas da região, entre outros.

Em relação à ocupação do solo, verificou-se ainda que a cultura de cana-de-açúcar ocupa os diversos tipos de solos encontrados na região, inclusive solos hidromórficos. Estes solos, de acordo com a legislação ambiental, são restritivos ao uso e ocupação, pois funcionam como filtros de poluição que é carregada pelo escoamento superficial. No entanto, ao visitar a região em estudo observou-se a plantação de cana-de-açúcar até às margens do rio Pardo e mata ciliar estreita ou substituída por *Eucaliptus*, entre outras vegetações modificadas. A figura 5.22 ilustra este cenário.

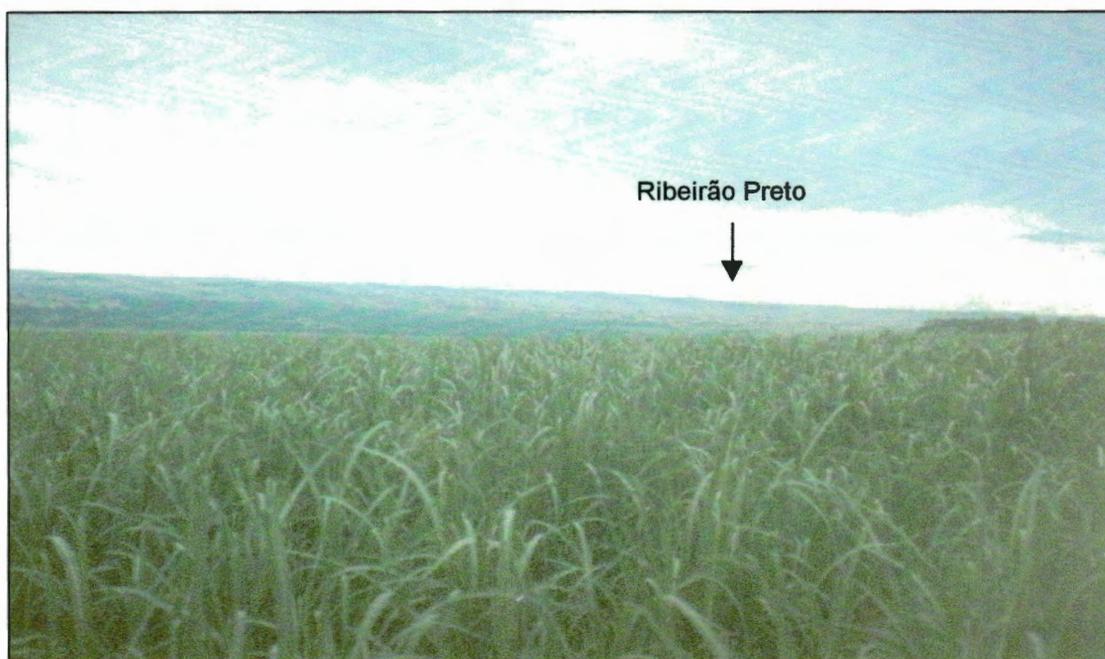


Figura 5.20: Cultura de cana-de-açúcar circundando Ribeirão Preto.



Figura 5.21: Grandes áreas de cultura de cana-de-açúcar estendendo-se ao horizonte.

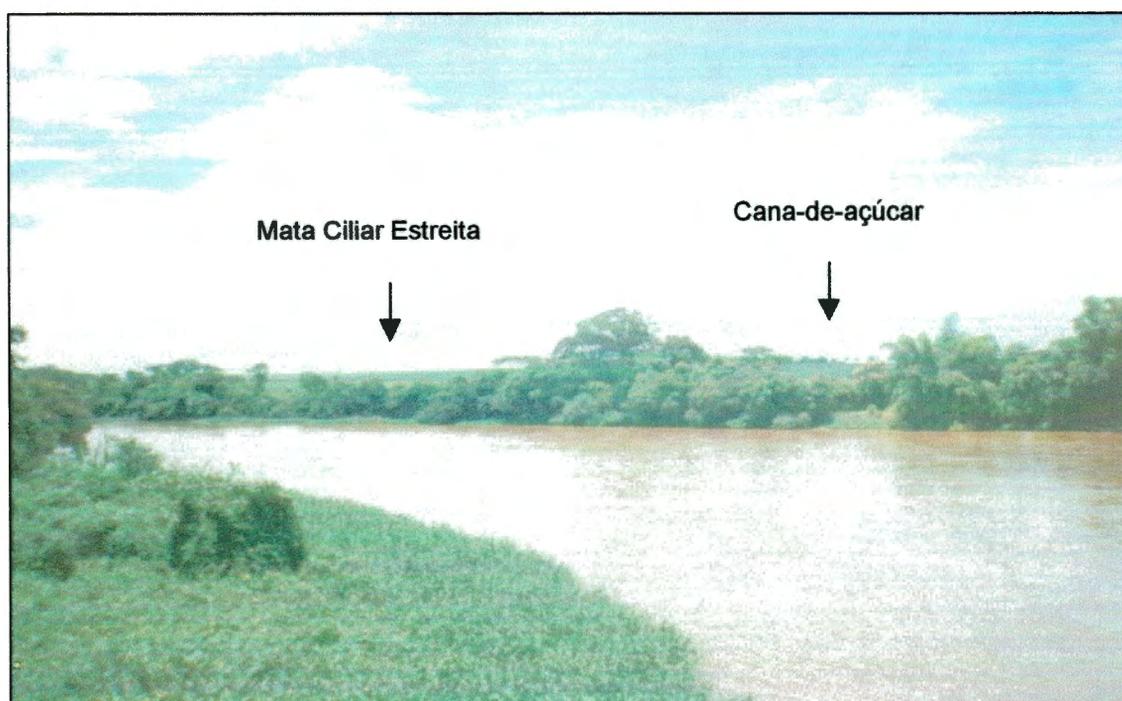
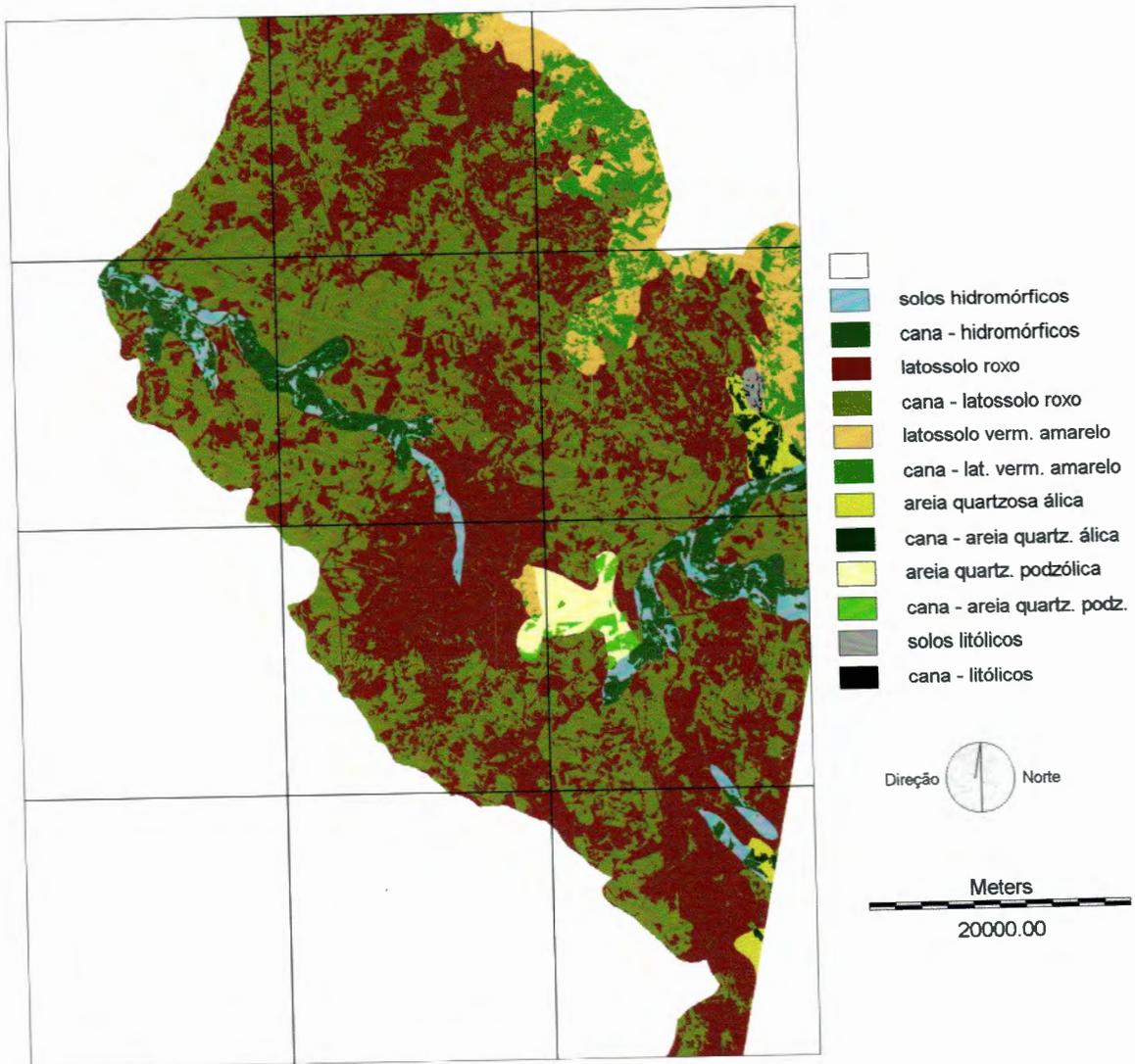


Figura 5.22: Rio Pardo apresentando estreita mata ciliar e plantação de cana-de-açúcar às margens do mesmo.

Para melhor ilustrar a distribuição da cana-de-açúcar em relação aos tipos de solos, foi feito o mapa representado na figura 5.23, utilizando-se a imagem de satélite de 1997.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.23: Mapa da distribuição da cana-de-açúcar em relação aos tipos de solos.

5.4.4 Redução da Vegetação Natural

Como consequência do crescimento populacional, expansão urbana e industrial e exploração da terra para fins agrícolas de maneira não sustentável, tem-se a degradação do meio natural. Um exemplo é o processo de desmatamento que cresce de maneira desenfreada resultando em problemas como erosão, assoreamento dos rios, empobrecimento dos solos, maior escoamento superficial causando a poluição dos cursos d'água, entre vários outros.

Em se tratando de desmatamento, o Estado de São Paulo merece destaque, principalmente em regiões agrícolas, em que milhares de hectares de vegetação natural (inclusive matas ciliares) são destruídos dando lugar às plantações (tabela 5.37).

Tabela 5.37: Evolução da supressão da cobertura vegetal no Estado de São Paulo 1973-1989.

Tipos de vegetação	1973		1989	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Mata	2.069.920	8,33	1.846.966	7,58
Capoeira	1.241.090	4,99	983.914	4,04
Cerradão	105.390	0,42	73.175	0,30
Cerrado	784.990	3,16	208.647	0,86
Campo cerrado	148.990	0,60	1.883	0,01
Campo	43.870	0,18	1.933	0,01
TOTAL	4.394.250	17,68	3.116.518	12,80

Fonte: Adaptado da SMA - Levantamento da cobertura vegetal e do reflorestamento no Estado de São Paulo.

A tabela 5.38 demonstra a área remanescente de vegetação nativa na região do Médio Pardo e, por meio dela, pode-se observar que a mesma se encontra bastante restrita em relação à área total desta região.

Tabela 5.38: Vegetação nativa - compartimentos econômico-ecológicos na região do Médio Pardo.

Tipo de vegetação	Área (ha)	%
Vegetação natural	21.635	3,7
Várzea	2.857	0,5
Total de vegetação	24.492	4,2
Médio Pardo	569.550	100

Fonte: Adaptado da SMA/CPM, programa Olho Verde, 1991.

Em relação à área em estudo a situação não é diferente, pois, analisando-se a tabela 5.33 e a figura 5.24 construídas utilizando dados obtidos nas imagens de satélite 1985 e 1997, verifica-se que houve uma redução de, aproximadamente, metade da vegetação natural neste período de doze anos.

Esta redução pode ser associada em grande parte à expansão da cana-de-açúcar, levando-se em consideração que 73% da perda foi para esta cultura e 27% para outros usos, de acordo com o cálculo de áreas do mapa representado pela figura 5.25.

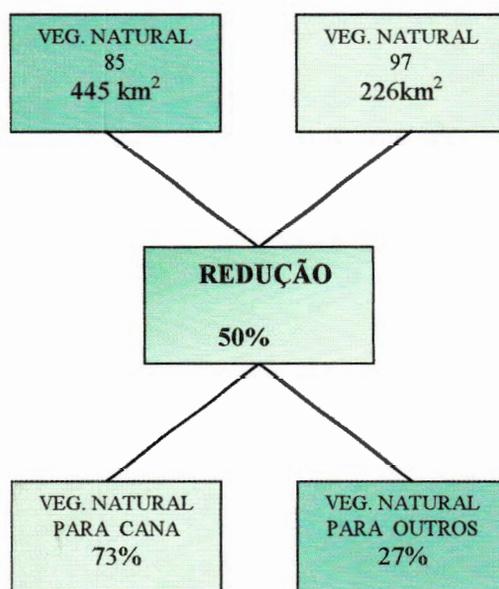


Figura 5.24: Percentual de redução da vegetação natural.

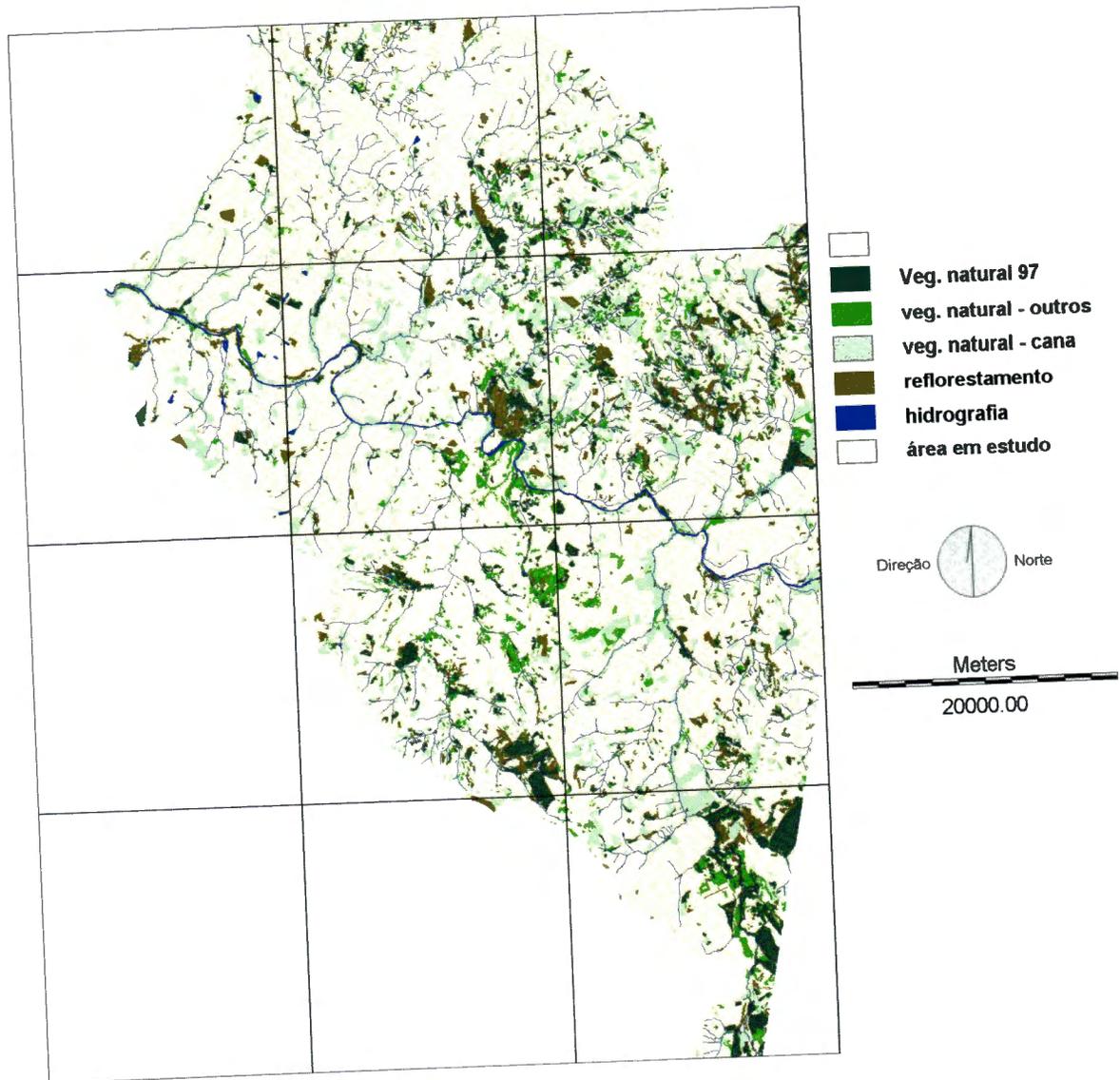
Vários estudos demonstram que uma determinada área de vegetação (mata ciliar) evita a contaminação das águas dos rios pelo escoamento superficial que transporta nutrientes.

LOWRANCE (1998) publicou um trabalho no qual utiliza três faixas de vegetação diferentes e testa os herbicidas Atrazine e Alachlor para uma plantação de milho. Os resultados indicam que a faixa de vegetação remove o herbicida e pode também reter o excesso de fertilizantes, sedimentos e outros que colocam em risco a qualidade da água.

As faixas de vegetação são ainda responsáveis pela redução da erosão laminar das margens dos corpos d'água promovida pela estabilização do solo superficial e pela redução da velocidade do escoamento superficial.

Juntamente com a devastação da vegetação natural, várias espécies animais são destruídas e até mesmo extintas. A retirada da mesma deixa o solo exposto, causando problemas de erosão.

Enfim, é preciso que algumas atitudes sejam tomadas no sentido de proteger os remanescentes de vegetação natural, recuperar as matas ciliares e também que a legislação de proteção das mesmas seja respeitada.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.25: Mapa da perda de áreas de vegetação natural para cana-de-açúcar e outros usos.

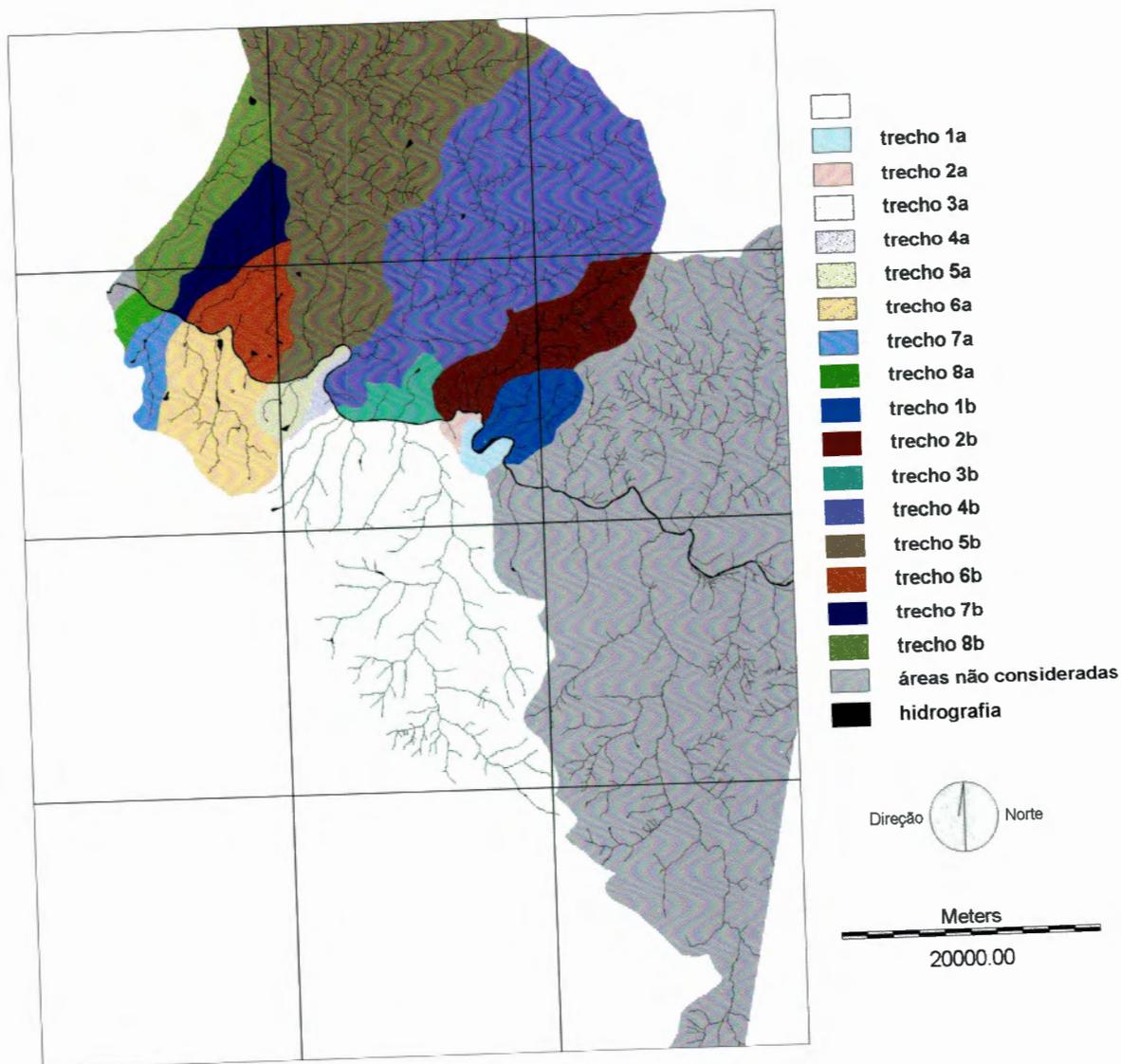
5.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE AUTODEPURAÇÃO

O modelo QUAL2E consiste em um modelo simples, de decaimento de primeira ordem que estima concentrações de poluentes dissolvidos trecho a trecho de um rio.

O rio é dividido em trechos a partir de um ponto a montante. É possível associar um ou mais lançamentos de cargas pontuais ao longo de cada trecho modelado. Calcula-se a entrada e saída de cargas para cada trecho, sendo que a carga de saída de um trecho é considerada a de entrada de outro.

5.5.1 Mapa das sub-bacias da área em estudo

Para uma maior eficiência na aplicação do modelo matemático, torna-se necessária a delimitação da bacia e a divisão em sub-bacias, visto que o trecho do rio em estudo também foi dividido, devido aos diferentes pontos de lançamento de carga pontual, vazões, entre outros fatores hidrológicos. Dessa maneira, a digitalização foi realizada pelo TOSCA 2.12 na forma de polígono, orientando-se pelos divisores de água na carta planialtimétrica do IBGE, na escala 1:50.000. Obteve-se portanto, o mapa da figura 5.26 representando as oito sub-bacias de contribuição para o trecho do rio Pardo em estudo, que vai do Ponto 2040 ao 2060 (postos de monitoramento da CETESB). Para esta situação as áreas da bacia em estudo, cujos rios não estejam desaguando no trecho do rio em estudo, não foram consideradas.



Coordenadas (UTM):176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.26: Mapa das sub-bacias e trechos do rio Pardo em estudo.

Para cada sub-bacia foi calculada a área de drenagem e o comprimento do trecho em que é lançado o escoamento superficial da mesma (tabela 5.39).

Tabela 5.39: Representação numérica das sub-bacias e subtrechos da área em estudo.

SUB-BACIA	SUBTRECHO (km)	ÁREA (km ²)
I	7,95	43,87
II	4,44	86,85
III	8,87	449,23
IV	5,60	338,99
V	7,47	587,87
VI	9,99	127,56
VII	1,71	62,50
VIII	2,70	68,87
TOTAL	48,73	1.765,74

A área total da bacia em estudo, representada na tabela acima (1.765,74 km²), não coincide com a área total dos mapas representados anteriormente (2.484 km²). Para aplicação do modelo considerou-se apenas as áreas cujos rios deságuam no trecho do rio Pardo em estudo, enquanto que para a determinação das áreas críticas que possam estar contribuindo para degradação da qualidade de sua água, considerou-se uma área mais abrangente.

Outro fato é que pequena parte da sub-bacia V não foi digitalizada, porém, esta área foi calculada e adicionada à área representada pelo mapa de sub-bacias (figura 5.26) para ser aplicada no modelo.

Para aplicação do modelo considerou-se 49 km para o trecho total e a sua divisão em oito subtrechos foi realizada adquirindo-se os comprimentos representados na figura 5.27.

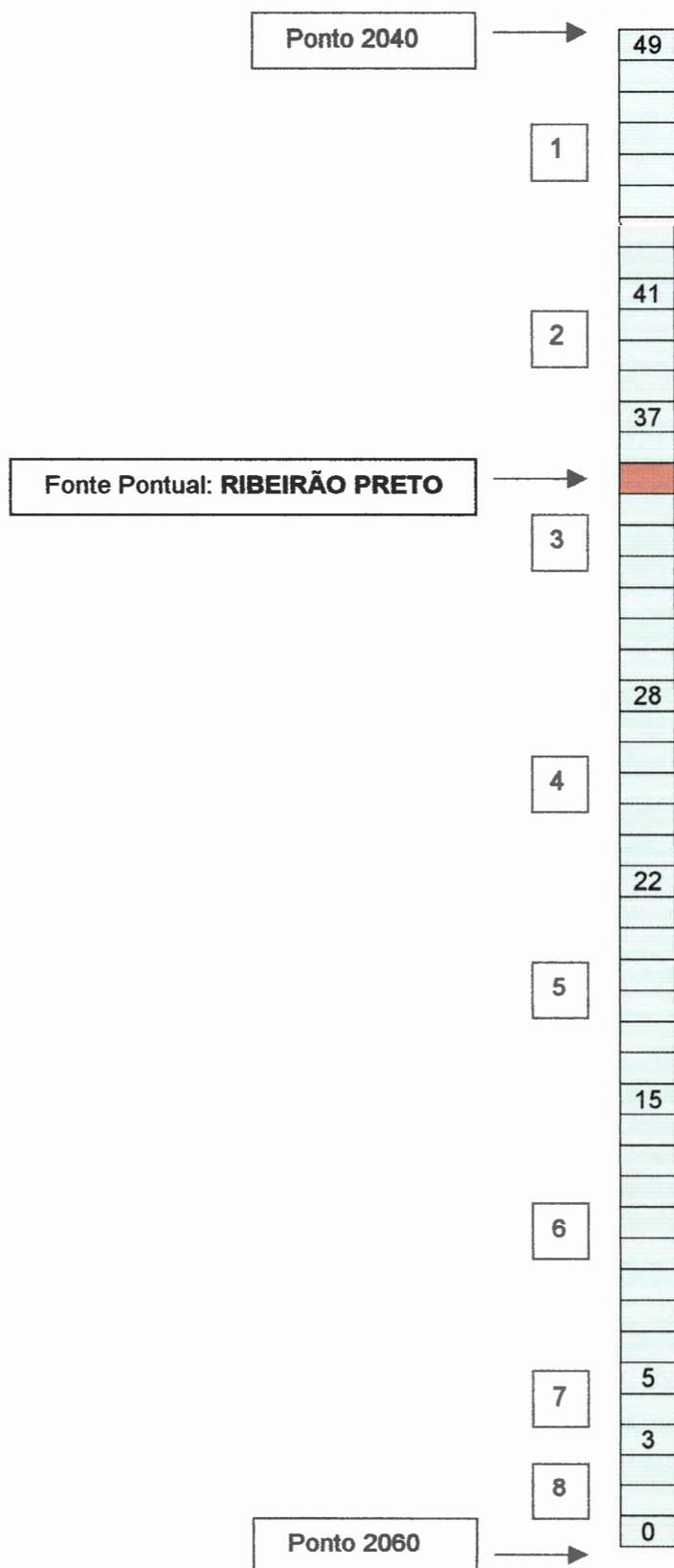


Figura 5.27: Representação dos subtrechos utilizados na aplicação do modelo.

5.5.2 IMPLANTAÇÃO DO MODELO

O modelo foi aplicado visando determinar a capacidade de depuração ao longo do trecho estudado, para através dos valores dos parâmetros de qualidade de água dos pontos de coleta da CETESB 2040 e 2060, estimar a carga provinda por fontes difusas.

Por se tratar apenas de avaliação de contribuição de fontes difusas, e sem a pretensão de utilizar modelos com grande quantidade de parâmetros, muitas vezes não disponíveis ou difíceis de serem determinados em campo, optou-se pelo uso do modelo descrito, por ser simples e por fornecer os indicativos necessários às análises em estudo.

Os valores dos parâmetros utilizados no modelo (DBO, OD, coliformes, fósforo total e nitrogênio total) encontram-se nas tabelas 5.23 a 5.31 e outros valores necessários, bem como os coeficientes utilizados em cada simulação encontram-se nas tabelas 5.40 e 5.41. Os valores das vazões em cada trecho, vazões médias mensais e vazões de contribuição do Ribeirão Preto encontram-se na tabela 5.42.

Em se tratando de fonte pontual, foi considerada a carga do esgoto sanitário e industrial de Ribeirão Preto e Cravinhos, lançados no trecho III e para o cálculo da contribuição de vazão neste ponto, considerou-se o número de habitantes destas cidades.

Para aplicação do QUAL2E, foram utilizados os meses de janeiro e julho por serem meses críticos de chuva e estiagem, respectivamente, considerando-se que os outros meses chuvosos apresentam características similares a janeiro e os de estiagem apresentam características similares a julho.

Tabela 5.40: Valores e coeficientes utilizados nas simulações (1985).

PARÂMETRO	JANEIRO		JULHO	
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 1	Simulação 2
Temperatura (°C)	20	20	20	20
Longitude (°)	47	47	47	47
Latitude (°)	21	21	21	21
Elevação (m)	600	600	600	600
Oxidação da amônia (mg O/mg N)	3.0	3.0	3.0	3.0
Oxidação do nitrito (mg O/mg N)	1.0	1.0	1.0	1.0
Coef. Inibição de nitrificação	10	10	10	10
Coef. dispersão	60	60	60	60
Coef. velocidade	0.017	0.017	0.017	0.017
Expoente da equação de velocidade	0.647	0.647	0.647	0.647
Coef. profundidade	0.009	0.009	0.009	0.009
Expoente da equação de profundidade	0.91	0.91	0.91	0.91
Manning	0.02	0.02	0.02	0.02
Constante de decaimento de DBO	0.3	0.6	0.3	0.6
Constante de sedimentação de DBO	0	0.2	0	0.2
Taxa de sedimentação OD	0	0	0	0
O - N (hidrólise)	0.02	0.04	0.02	0.04
O - N sedimentação	0	0.05	0	0.05
NH ₃ oxidação	0.1	0.2	0.1	0.2
NO ₂ oxidação	2	1	2	1
O - P decaimento	0.01	0.02	0.01	0.02
O - P sedimentação	0	0.05	0	0.05
P dissolvido	0	0	0	0
Coliforme	1	1	1	1
N org. no Ponto 2040	0.29	0.29	0.40	0.40
NH ₃ no Ponto 2040	0.01	0.01	0.04	0.04
NO ₂ no Ponto 2040	0.01	0.01	0.01	0.01
NO ₃ no Ponto 2040	0.13	0.13	0.18	0.18
P org. no Ponto 2040	0.05	0.05	0.01	0.01
P dissolvido no Ponto 2040	0	0	0	0
OD Ribeirão Preto	0	0	0	0
DBO Ribeirão Preto	350	350	350	350
N org. Ribeirão Preto	40	40	40	40
NH ₃ - N	5	5	5	5
P org.	10	10	10	10
P dissolvido	1	1	1	1
Coliformes Ribeirão Preto	10'	10'	10'	10'

Tabela 5.41: Valores e coeficientes utilizados nas simulações (1997).

PARÂMETRO	JANEIRO		JULHO	
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 1	Simulação 2
Temperatura (°C)	20	20	20	20
Longitude (°)	47	47	47	47
Latitude (°)	21	21	21	21
Elevação (m)	600	600	600	600
Oxidação da amônia (mg O/mg N)	3.0	3.0	3.0	3.0
Oxidação do nitrito (mg O/mg N)	1.0	1.0	1.0	1.0
Coef. Inibição de nitrificação	10	10	10	10
Coef. dispersão	60	60	60	60
Coef. velocidade	0.017	0.017	0.017	0.017
Expoente da equação de velocidade	0.647	0.647	0.647	0.647
Coef. profundidade	0.009	0.009	0.009	0.009
Expoente da equação de profundidade	0.91	0.91	0.91	0.91
Manning	0.02	0.02	0.02	0.02
Constante de decaimento de DBO	0.3	0.6	0.3	0.6
Constante de sedimentação de DBO	0	0.2	0	0.2
Taxa de sedimentação OD	0	0	0	0
O – N (hidrólise)	0.02	0.04	0.02	0.04
O – N sedimentação	0	0.05	0	0.05
NH ₃ oxidação	0.1	0.2	0.1	0.2
NO ₂ oxidação	2	1	2	1
O – P decaimento	0.01	0.02	0.01	0.02
O – P sedimentação	0	0.05	0	0.05
P dissolvido	0	0	0	0
Coliforme	1	1	1	1
N org. no Ponto 2040	0.85	0.85	0.28	0.28
NH ₃ no Ponto 2040	0.05	0.05	0.04	0.04
NO ₂ no Ponto 2040	0.005	0.005	0.011	0.011
NO ₃ no Ponto 2040	0.12	0.12	0.11	0.11
P org. no Ponto 2040	0.032	0.032	0.041	0.041
P dissolvido no Ponto 2040	0	0	0	0
OD Ribeirão Preto	0	0	0	0
DBO Ribeirão Preto	350	350	350	350
N org. Ribeirão Preto	40	40	40	40
NH ₃ - N	5	5	5	5
P org.	10	10	10	10
P dissolvido	1	1	1	1
Coliformes Ribeirão Preto	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷

Tabela 5.42: Valores de vazões médias mensais no Ponto 2040, vazões nos trechos e vazão do Ribeirão Preto para os meses de janeiro e julho de 1985 e 1997 (m^3/s).

Trecho	1985		1997	
	Janeiro	Julho	Janeiro	Julho
T1	1.1	0.5	1.0	0.5
T2	2.2	1.0	2.0	1.0
T3	11.4	5.5	10.0	5.2
T4	8.6	4.0	8.0	4.0
T5	15	7.2	14.0	7.0
T6	3.2	1.5	3.0	1.5
T7	1.6	0.7	1.4	0.7
T8	1.7	0.8	1.6	0.8
Q média mensal	332.42	133.38	538.89	155.73
Q Ribeirão Preto	0.9	0.9	1.1	1.1

Para melhor visualização das vazões pode-se observar as figuras 5.28 a 5.31, obtidas pela aplicação do modelo.

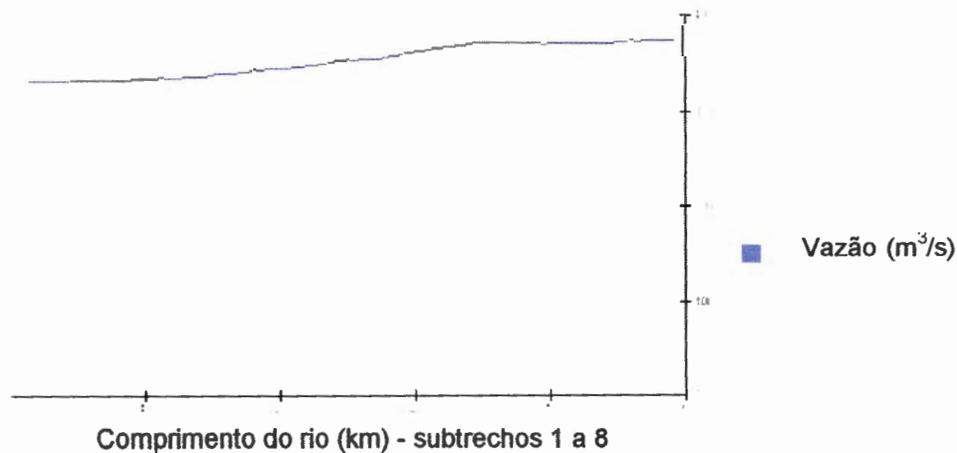


Figura 5.28: Vazão nos subtrechos em janeiro de 1985.

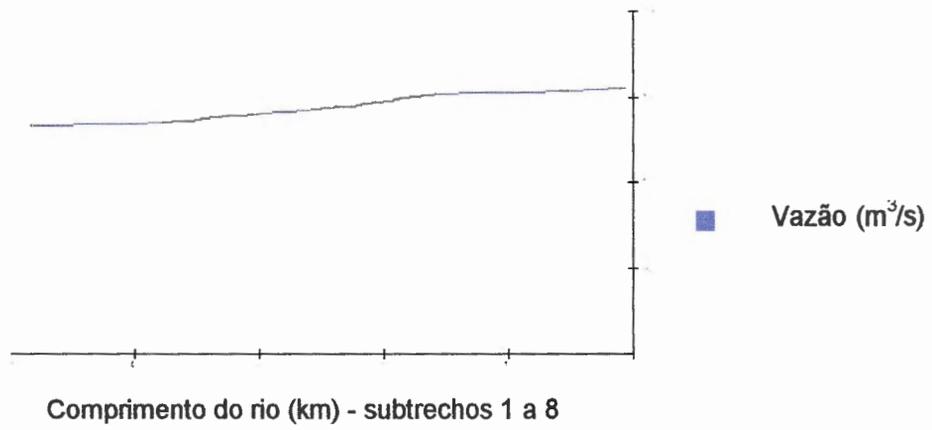


Figura 5.29: Vazão nos subtrechos em julho de 1985.

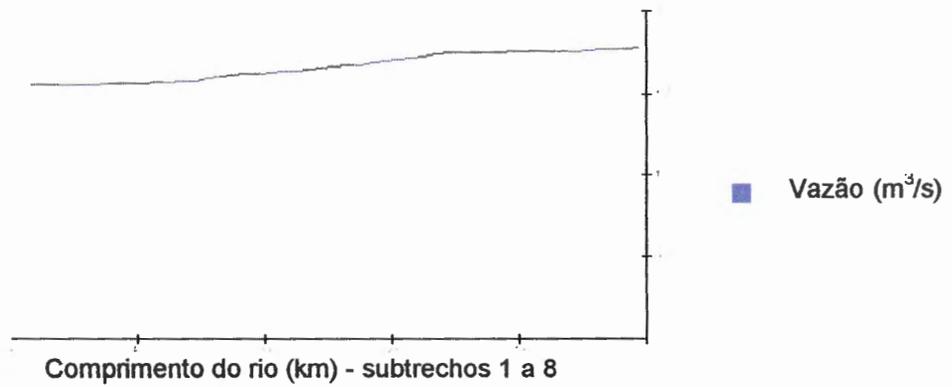


Figura 5.30: Vazão nos subtrechos em janeiro de 1997.

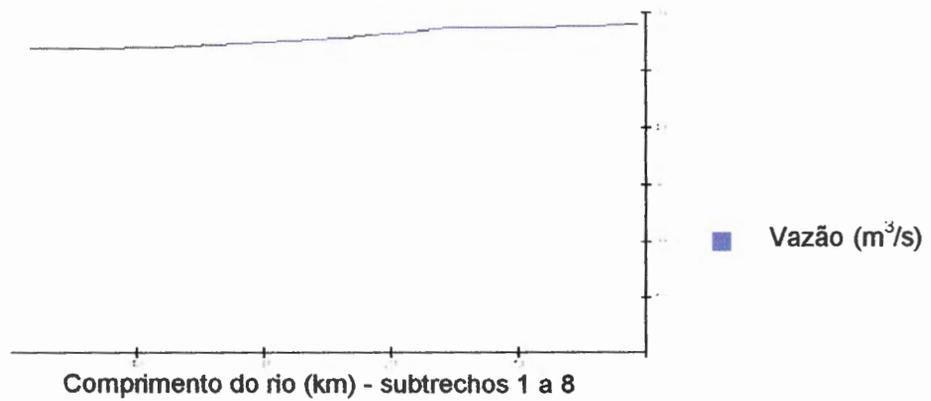


Figura 5.31: Vazão nos subtrechos em julho de 1997.

A partir da entrada dos dados referidos acima no Qual2E e mantendo alguns valores no *default* foram obtidos os resultados representados nas figuras 5.32 a 5.55.

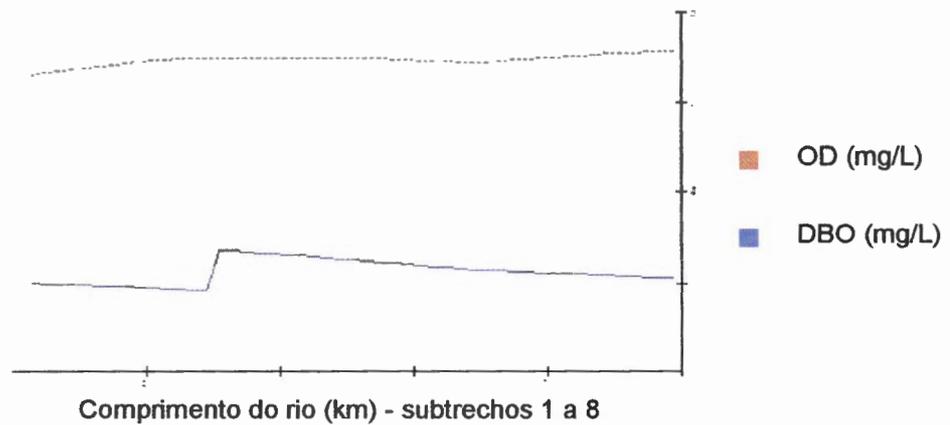


Figura 5.32: DBO e OD em janeiro de 1985 – simulação 1.

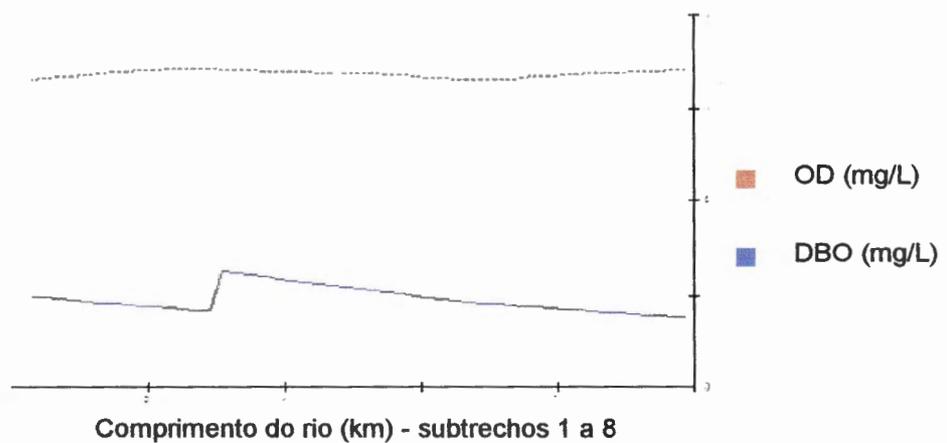


Figura 5.33: DBO e OD em janeiro de 1985 – simulação 2.

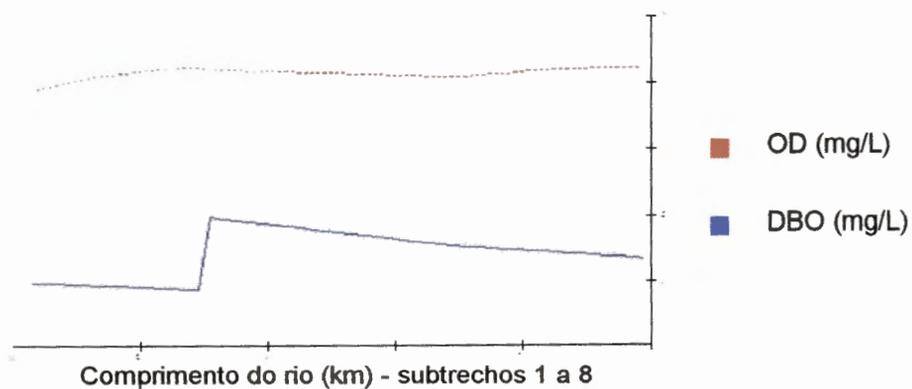


Figura 5.34: DBO e OD em julho de 1985 – simulação 1.

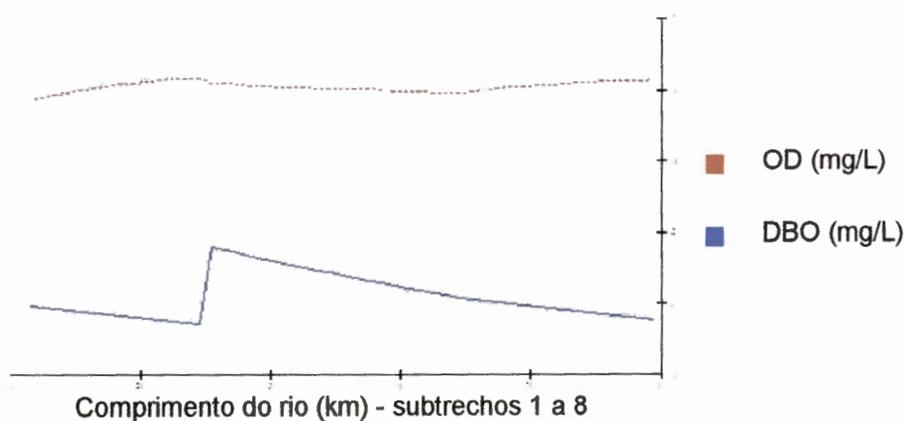


Figura 5.35: DBO e OD em julho de 1985 – simulação 2.

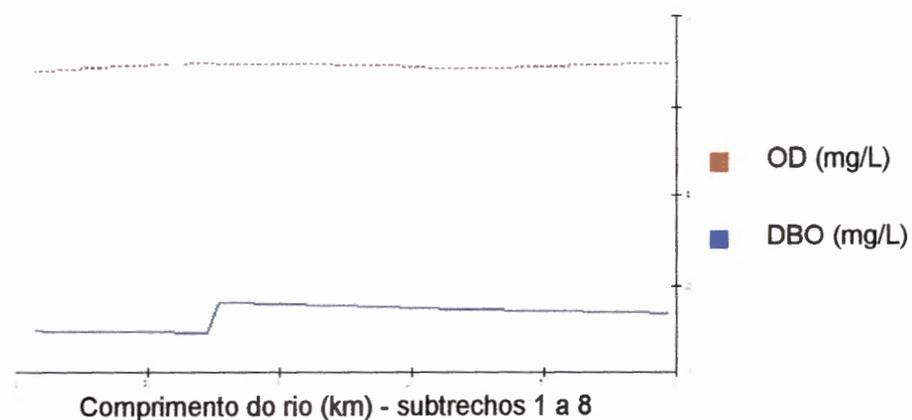


Figura 5.36: DBO e OD em janeiro de 1997 – simulação 1.

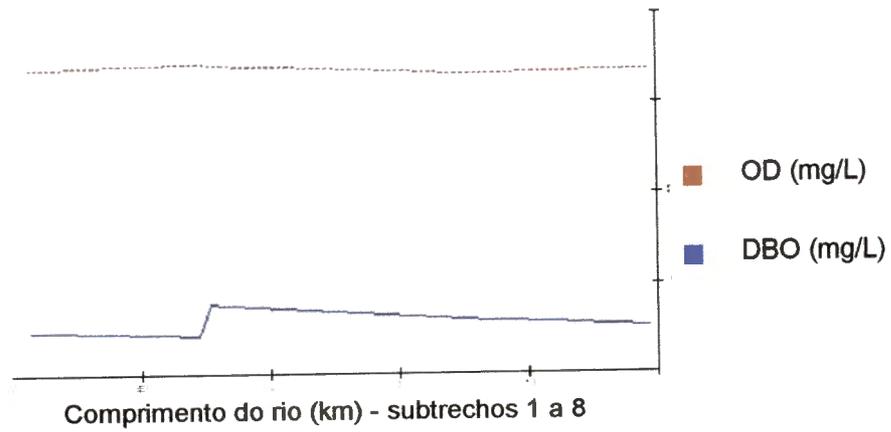


Figura 5.37: DBO e OD em janeiro de 1997 – simulação 2.

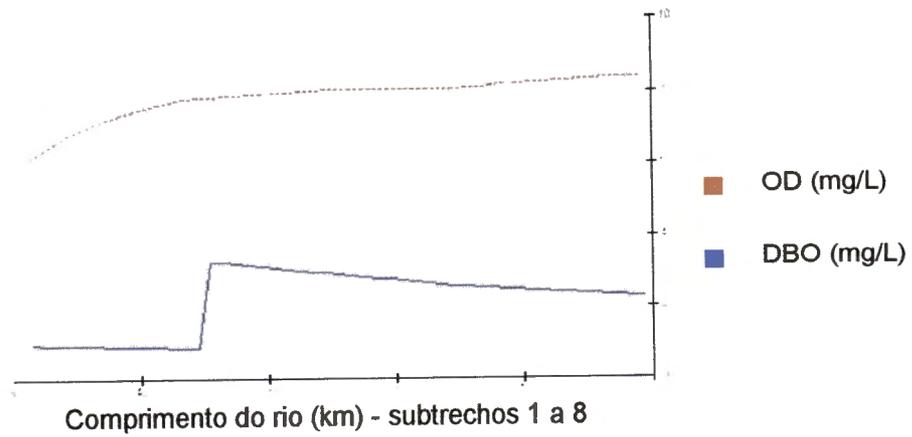


Figura 5.38: DBO e OD em julho de 1997 – simulação 1.

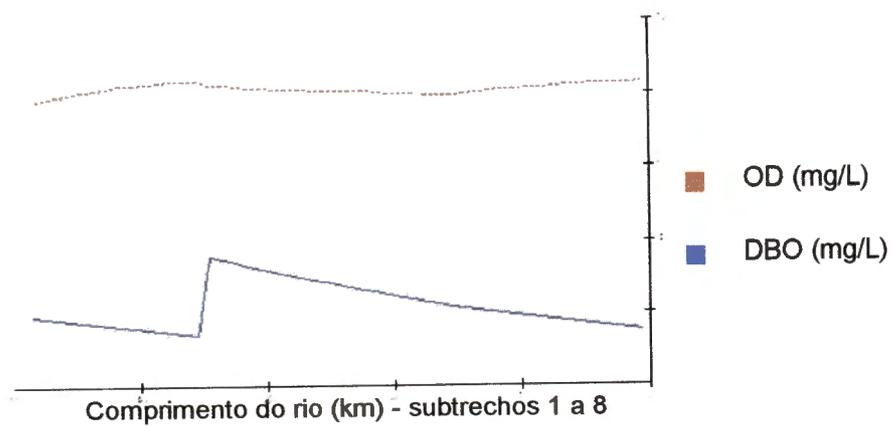


Figura 5.39: DBO e OD em julho de 1997 – simulação 2.

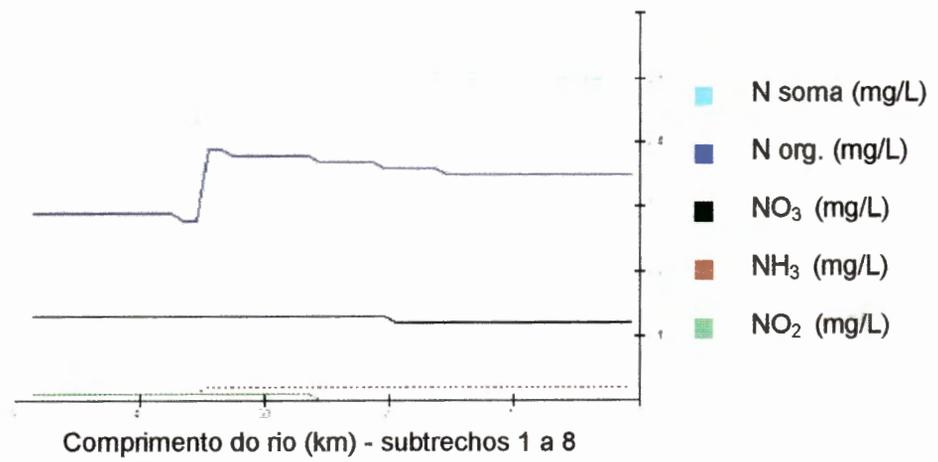


Figura 5.40: Nitrogênio em janeiro de 1985 – simulação 1.

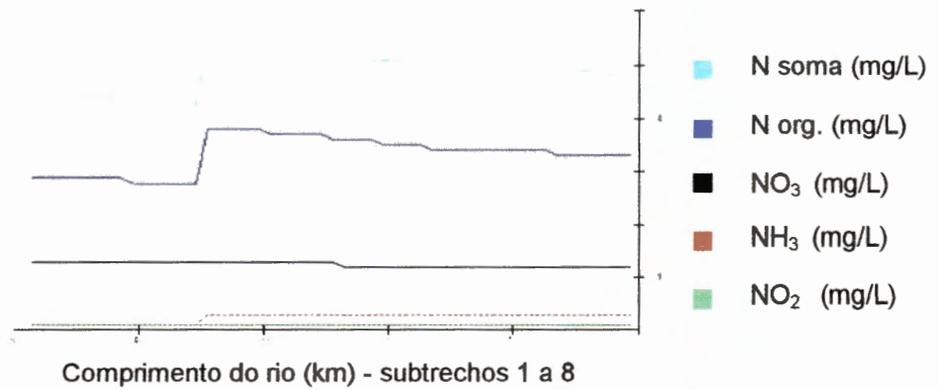


Figura 5.41: Nitrogênio em janeiro de 1985 – simulação 2.

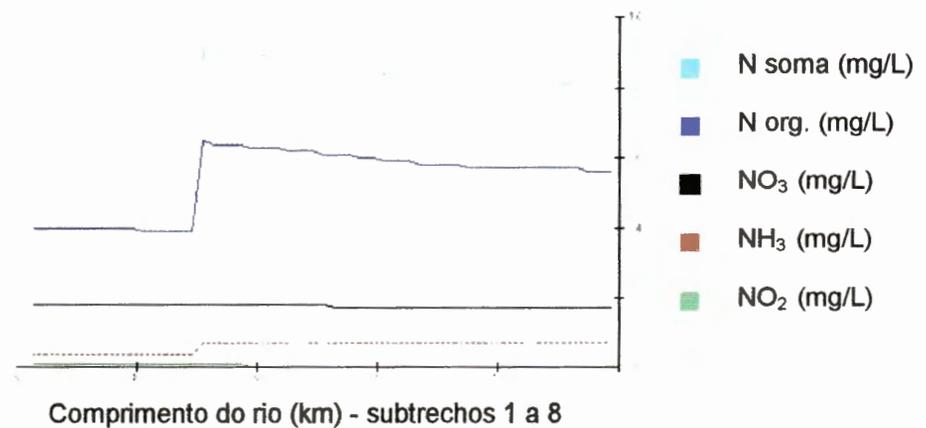


Figura 5.42: Nitrogênio em julho de 1985 – simulação 1.

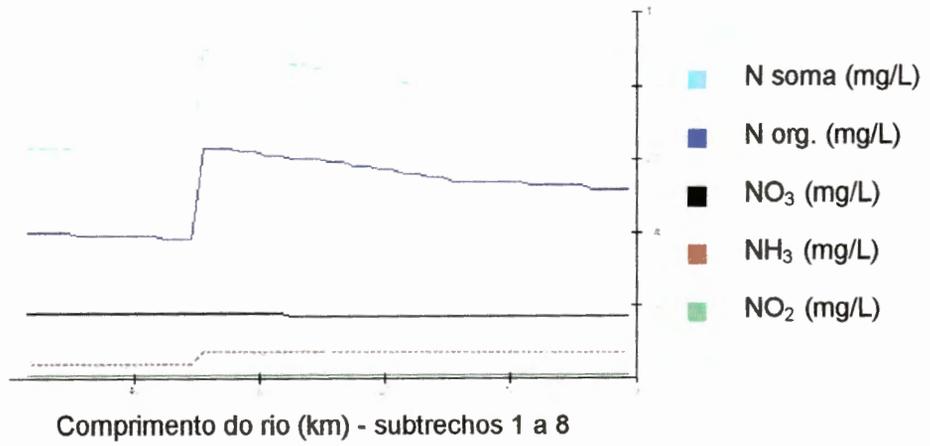


Figura 5.43: Nitrogênio em julho de 1985 – simulação 2.

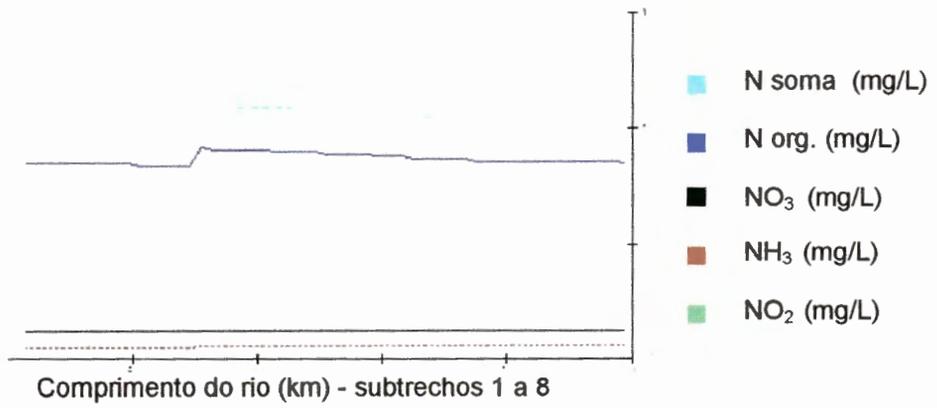


Figura 5.44: Nitrogênio em janeiro de 1997 – simulação 1.

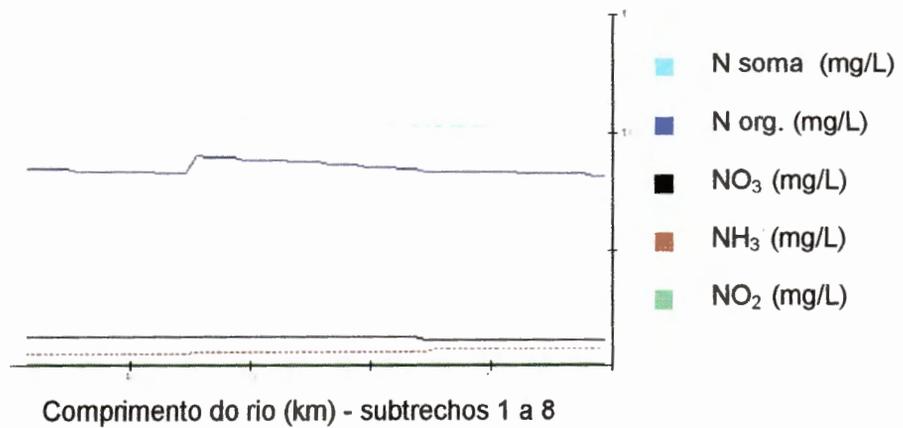


Figura 5.45: Nitrogênio em janeiro de 1997 – simulação 2.

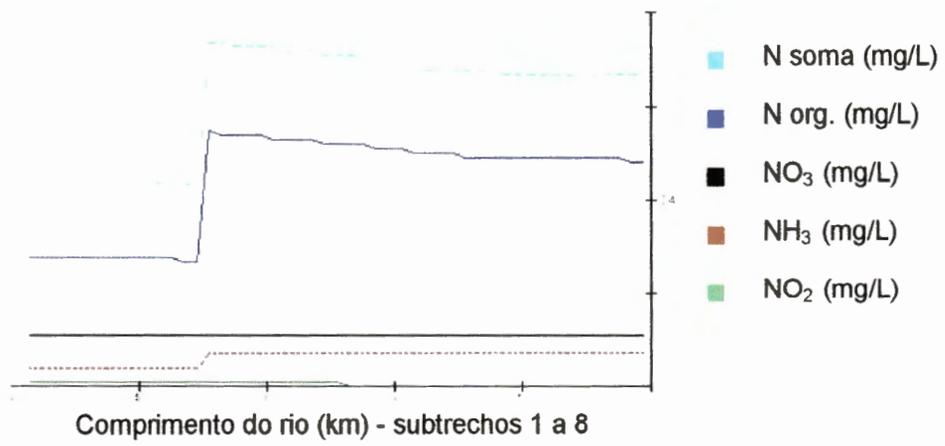


Figura 5.46: Nitrogênio em julho de 1997 – simulação 1.

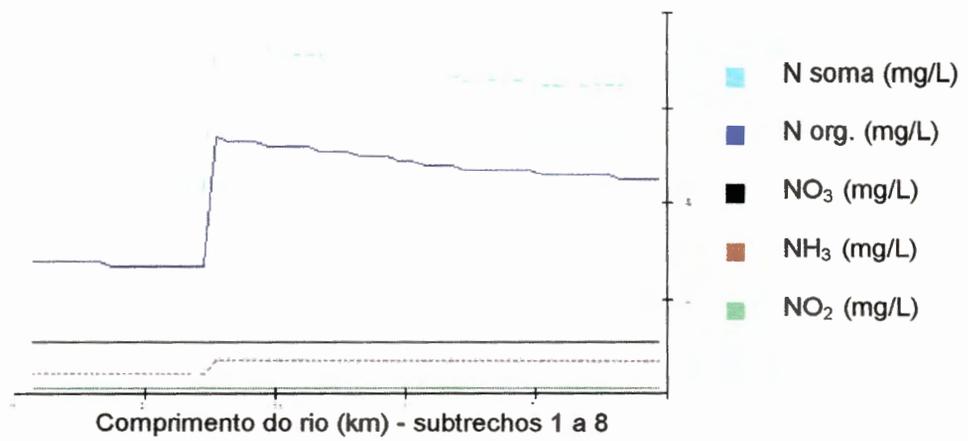


Figura 5.47: Nitrogênio em julho de 1997 – simulação 2.

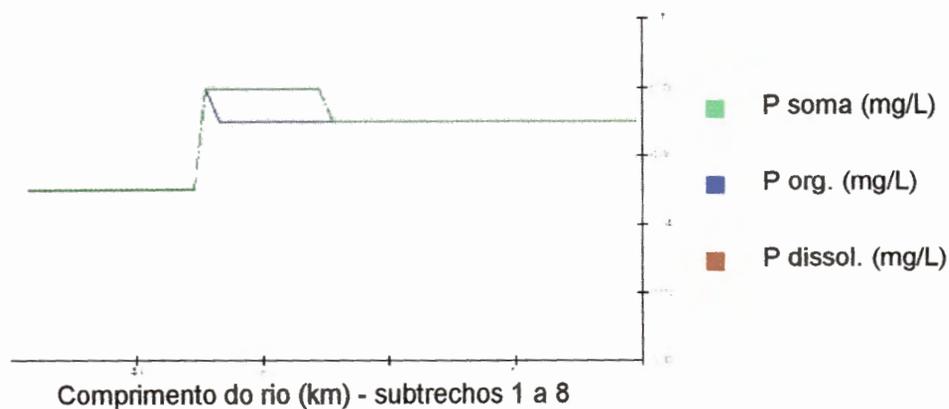


Figura 5.48 : Fósforo em janeiro 1985 – simulação1

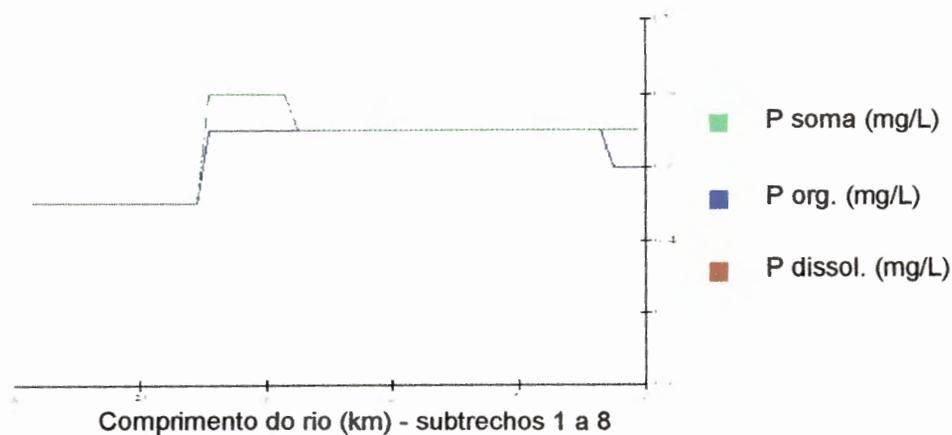


Figura 5.49: Fósforo em janeiro 1985 – simulação2

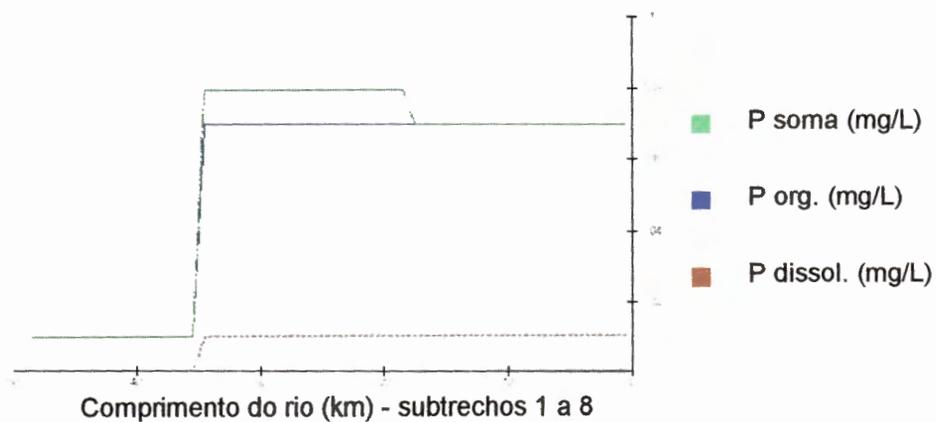


Figura 5.50: Fósforo em julho de 1985 – simulação 1.

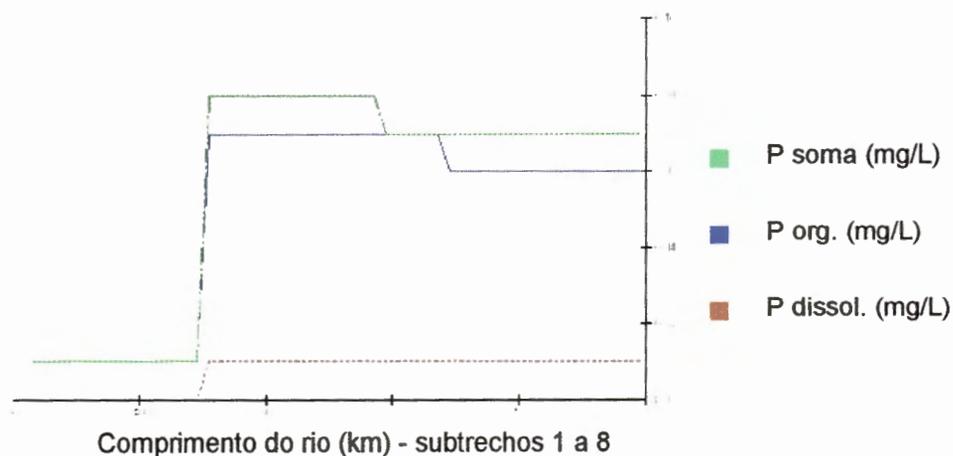


Figura 5.51: Fósforo em julho de 1985 – simulação 2.

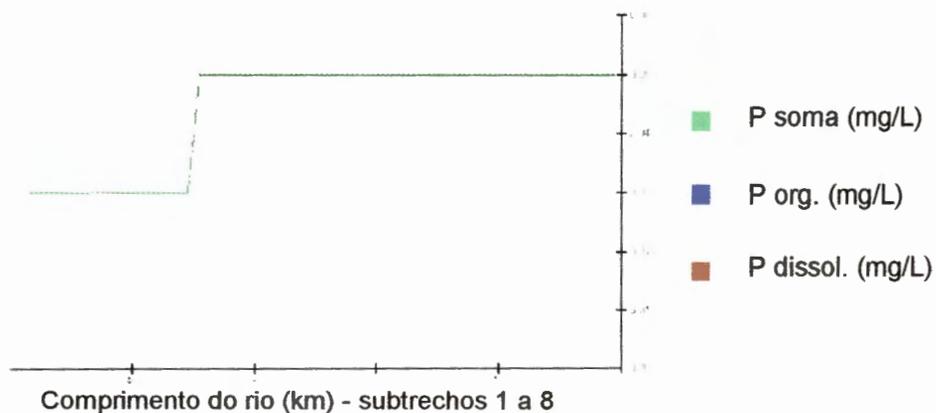


Figura 5.52: Fósforo em janeiro de 1997 – simulação 1.

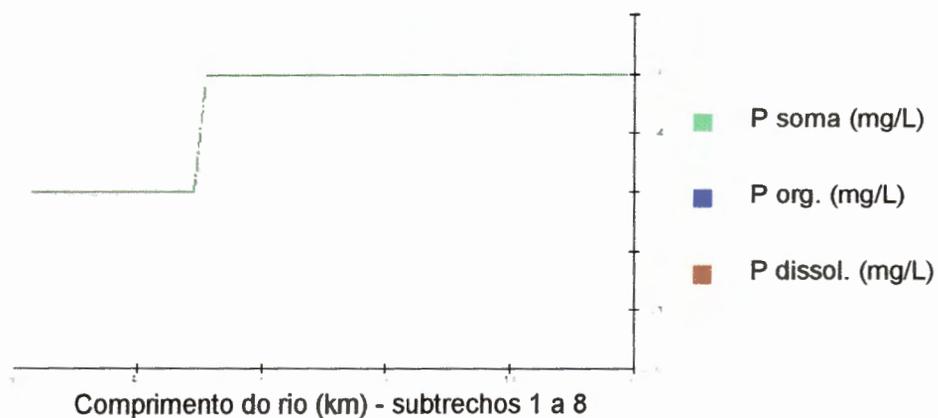


Figura 5.53: Fósforo em janeiro de 1997 – simulação 2.

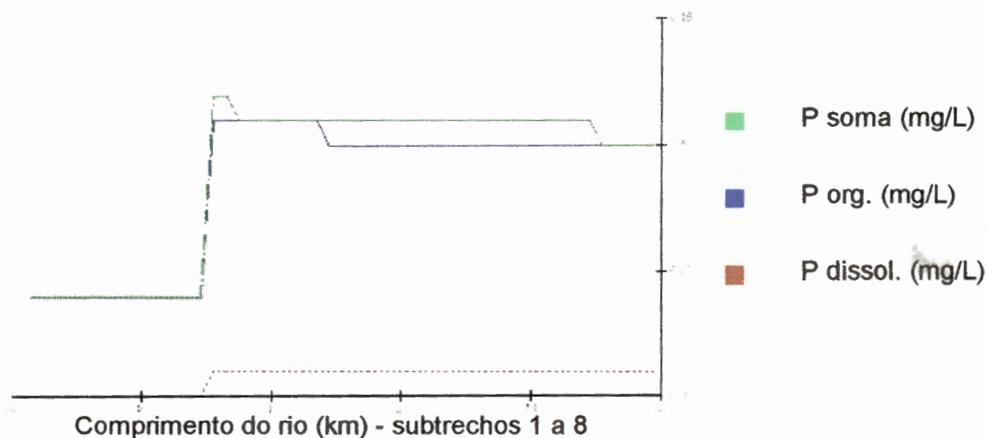


Figura 5.54: Fósforo em julho de 1997 – simulação 1.

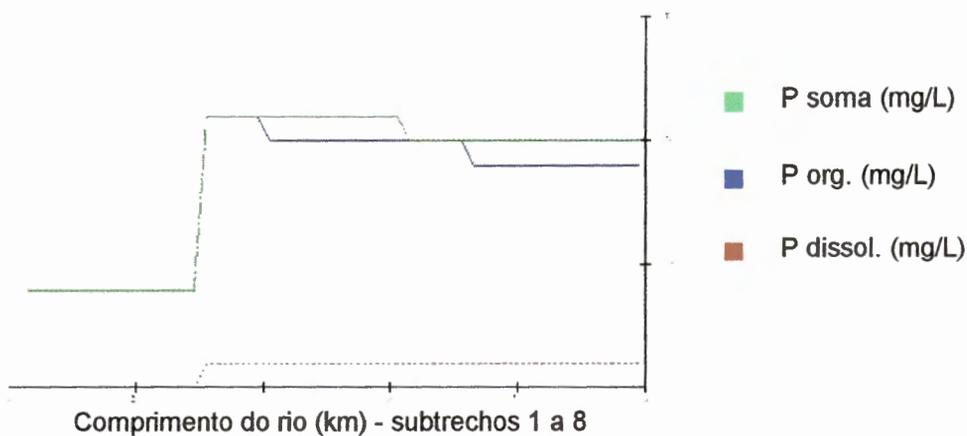


Figura 5.55: Fósforo em julho de 1997 – simulação 2.

A aplicação do QUAL2E no trecho do rio Pardo em estudo foi realizada por meio de duas simulações para os meses de janeiro e julho dos anos de 1985 e 1997. Na primeira simulação, foram utilizados valores extremos (mínimo ou máximo), dependendo do coeficiente, objetivando simular as piores condições possíveis. Na segunda simulação os valores foram dobrados ou reduzidos à metade, dependendo, como foi dito, do coeficiente. Porém, continuaram valores de condições desfavoráveis ao processo de autodepuração do rio.

Não foram considerados parâmetros referentes à fotossíntese por não se conhecer estes valores para o rio em estudo. A equação para reaeração

foi a de O'Connor e Dobbins, valores referentes à sedimentação e demanda bentônica foram utilizados consultando o manual do QUAL2E.

Analisando-se os resultados referentes à DBO e OD, representados pelas figuras 5.32 a 5.39 observa-se que para a DBO os valores oscilam pouco, sempre próximo a 2 mg/L, valor obtido nos pontos de monitoramento 2040 e 2060 da CETESB. Porém, ressalta-se o lançamento de esgoto de Ribeirão Preto e Cravinhos, representado nas figuras por uma elevação brusca, depois voltando e mantendo-se próximo de 2mg/L.

Para janeiro de 1985, na simulação 1 a DBO obtida no ponto final pelo modelo é, praticamente, 2mg/L, na qual as condições são as mais conservadoras. Em julho do mesmo ano há uma elevação, que pode ser explicada pela redução de vazão e, conseqüentemente, aumento de concentrações. Para a simulação 2, em ambos os meses, a DBO apresenta-se abaixo de 2 mg/L, inferindo que ao utilizar coeficientes um pouco mais elevados obtém-se DBO abaixo do valor encontrado pela CETESB, mostrando que a diferença pode estar atingindo o rio por fontes difusa.

Para janeiro de 1997, nas duas simulações, os valores finais de DBO não estão indicando contribuição por fontes difusas, já que estão próximos ao valor obtido pela CETESB que é 1 mg/L. O esperado seria que para este ano os valores de DBO aumentassem considerando-se que houve um aumento da população de Ribeirão Preto de 1985 para 1997 e também houve um aumento na produção da cultura de cana-de-açúcar. Para o mês de julho de 1997 na simulação 1 e 2 os valores finais apresentam acima de 1 mg/L, mais uma vez demonstrando que o efeito de diluição é um fator importante a se considerar, visto que as vazões de janeiro e julho em 1997 correspondem a 538,89 m³/s e 155,73 m³/s.

Quanto ao OD, observa-se que no início do trecho as concentrações estão sempre menores que no ponto final, indicando que o fator reaeração deve estar corroborando para a obtenção destes resultados. Para este parâmetro não se observa diferença significativa entre as simulações 1 e 2, assim como para os anos de 1985 e 1997. O esperado seria valores menores de OD em 1997, pois o presente trabalho verificou que os fatores

de contribuição para poluição do rio aumentaram neste ano em relação a 1985. A alteração ocorre comparando-se os teores de OD do mês de janeiro de ambos os anos em relação a julho. Em julho os valores apresentam-se acima de 8 mg/L, podendo ser justificado pela redução da temperatura que aumenta a solubilidade de oxigênio na água. No entanto, todos os valores de OD obtidos pela aplicação do modelo estão acima de 5mg/L, valor mínimo permitido pela Resolução CONAMA n° 20 de 1986, para a classe 2.

O nitrogênio está representado nos resultados do modelo pelas formas nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito, nitrato e soma de nitrogênio. Primeiramente, observa-se que ao lançar o esgoto de Ribeirão Preto no trecho III, ocorre um pico nos teores de nitrogênio em todas as figuras. Os valores de nitrato não sofrem grandes alterações no decorrer das simulações, permanecendo próximo de 0,1 mg/L. Quanto ao nitrito, os valores apresentam-se abaixo dos valores de nitrato e muito próximos de 0 mg/L. Para o nitrogênio amoniacal os valores também são baixos, havendo elevação no trecho que recebe contribuição do esgoto de Ribeirão Preto, mantendo-se constante até o ponto final do trecho em estudo.

Portanto, os valores de nitrogênio orgânico são os mais significativos. Para janeiro de 1985, na simulação 1, os valores apresentam-se abaixo de 0,4 mg/L, no ponto final do trecho em estudo. Na simulação 2, estes apresentam-se acima do mesmo valor, demonstrando que ao alterar os valores dos coeficientes, distanciando-os dos valores extremos utilizados na simulação 1, os resultados também se alteram, tendendo a atingir um valor ideal para as condições do rio, principalmente, ao considerar que o valor obtido pela CETESB no PONTO 2060 foi de 0,42 mg/L. Para janeiro de 1997 o cenário é o mesmo, porém com valores mais elevados, já que houve de 1985 para 1997 uma degradação da qualidade da água. Na simulação 1 e 2 os valores encontrados estão próximos de 0,8 mg/L, enquanto no Ponto 2060 da CETESB registrou-se 0,9 mg/L.

Vale ressaltar ainda, sobre o nitrogênio, que ao atingir o rio e se deslocar ao longo do trecho em estudo, não ocorre perdas, e sim, transformação de uma forma para outra, inclusive o nitrogênio é incorporado

pelos organismos na forma de biomassa. Dessa maneira pode-se analisar os teores de nitrogênio pela soma e, nas figuras obtidas, percebe-se um comportamento similar ao nitrogênio orgânico, porém, apresentando valores mais elevados. Para confirmar, mais uma vez, a contribuição por fontes difusas, desconsideradas pelo modelo, basta comparar os valores obtidos pelo modelo com os valores obtidos no ponto 2060 da CETESB, principalmente no mês de janeiro, porque no mês de julho há um aumento da concentração pela diminuição da vazão como mencionado anteriormente. Por outro lado, ocorre a redução do escoamento superficial nos meses de estiagem. Estes resultados estão representados na tabela 5.43.

Tabela 5.43: Comparação dos resultados do modelo QUAL2E com os dados obtidos pela CETESB no final do trecho em estudo, em relação a concentração (mg/L) de nitrogênio total.

P O N T O	1985	Janeiro	0,61	RESULTADOS DO MODELO QUAL2E							
				1985				1997			
		Julho	0,77	Janeiro		Julho		Janeiro		Julho	
2 0 6 0	1997	Janeiro	1,03	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
		Julho	0,65	0,5	0,48	0,8	0,78	1,0	1,0	0,68	0,65

S1: simulação 1 e S2: simulação 2.

É de grande relevância lembrar que todos os valores de nitrogênio total obtidos, seja pelo modelo ou pelas análises da CETESB, encontram-se acima dos níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20 de 1986, para a classe 2, que é de 0,02 mg/L.

Em relação ao fósforo, os resultados obtidos pelo modelo referem-se ao fósforo orgânico, fósforo dissolvido e soma de fósforo. Observa-se portanto, em todas as figuras, um aumento do mesmo no trecho onde há a contribuição da fonte pontual, e também, que a alteração é muito maior

neste ponto, no mês de julho, para ambas as simulações e ambos os anos, certamente pelo efeito de diluição novamente. A concentração de fósforo dissolvido, apresentado pelo modelo, também possui valores maiores no mês de julho.

Ao comparar os valores obtidos pelo modelo no final do trecho com os valores de fósforo obtidos no Ponto 2060 da CETESB (tabela 5.44), observa-se que são similares, não demonstrando desta maneira a contribuição por fontes difusas, porém, deve ser ressaltado que os valores analisados referem-se a concentração e considerando-se as cargas, estes resultados podem ser alterados. Portanto, para este parâmetro, tanto por meio do modelo quanto das análises da CETESB, pode-se observar que estão muito acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20 de 1986, para classe 2.

Tabela 5.44: Comparação dos resultados do modelo QUAL2E com os dados obtidos pela CETESB no final do trecho em estudo, em relação a concentração (mg/L) e carga (kg/dia) de fósforo total.

P O N T O	C o n c e n t r a ç ã o	2 0 6 0	1 9 8 5	Janeiro	0,070	RESULTADOS DO MODELO QUAL2E								
						Concentração (mg/L)								
						1985			1997					
						Janeiro		Julho		Janeiro		Julho		
C a r g a	1 9 8 5	1 9 8 5	1	Janeiro	0,059	S1	S2	S1	S2	S1	S2			
						0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,1	0,1	
						Carga (kg/dia)								
						1985			1997					
Janeiro		Julho		Janeiro		Julho								
2 0 6 0	C a r g a	1 9 8 5	1 9 8 5	1	Janeiro	3.024	S1	S2	S1	S2	S1	S2		
							2.298	2.298	967	967	2.505	2.505	1.555	1.555
							Carga (kg/dia)							
							1985			1997				
Janeiro		Julho		Janeiro		Julho								
2 0 6 0	C a r g a	1 9 8 5	1 9 8 5	7	Julho	1.382	2.298	2.298	967	967	2.505	2.505	1.555	1.555
							0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,1	0,1
							2.160	432	3.024	1.382				
							2.298	2.298	967	967	2.505	2.505	1.555	1.555

S1: simulação 1 e S2: simulação 2.

O ideal seria coletar amostras em vários pontos do Médio Pardo e utilizar os dados resultantes da análise em laboratório, considerando-se também dados climatológicos e fatores hidrológicos, intervinientes no processo de autodepuração do trecho do rio em estudo. Porém, o tempo estabelecido para este estudo não seria suficiente e nem mesmo foi este um dos objetivos do trabalho.

5.6 DETERMINAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS QUE POSSAM ESTAR CONTRIBUINDO PARA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA

Um dos objetivos do trabalho em questão é a determinação de áreas críticas que possam estar intervindo no processo de degradação dos cursos d'água. Esta etapa é de fundamental importância, visto que para estudos deste tipo, é necessário fazer uma interseção dos fatores que levam ao processo citado.

Por meio de imagens de satélites indicando as classes de uso e ocupação do solo, juntamente com mapas de declividade e pedologia digitalizados, foi possível avaliar a criticidade das áreas em relação à poluição do rio Pardo.

Fatores como expansão urbana, proximidade das áreas favoráveis à poluição do rio Pardo, devastação de mata ciliar, entre outros, são também relevantes na avaliação referida.

5.6.1 Mapa de Criticidade 1

Para a construção do mapa de criticidade 1 (figura 5.27) foi feita a tabela 5.41 contendo as classes de uso e ocupação do solo, declividade e pedologia, ponderadas de acordo com RANIERI (1996) para suscetibilidade à erosão, porém, adaptações foram feitas para criticidade quanto ao escoamento superficial.

No estudo, considerou-se solos hidromórficos apenas em declividades baixas, pois, em declividades altas o mesmo não aparece. Este solo não

deveria ser considerado, visto que o Código Florestal proíbe o uso e ocupação do mesmo por atividades humana, todavia, na região em estudo há cultivo de cana-de-açúcar neste solo (figura 5.23). Foram atribuídos pesos iguais para os fatores uso e ocupação do solo, declividade e pedologia. Para obtenção da figura 5.56 pelo IDRISI foi necessária a conversão dos índices da tabela 5.45 (MB, B, M, A e MA) em números (1, 2, 3, 4 e 5), respectivamente.

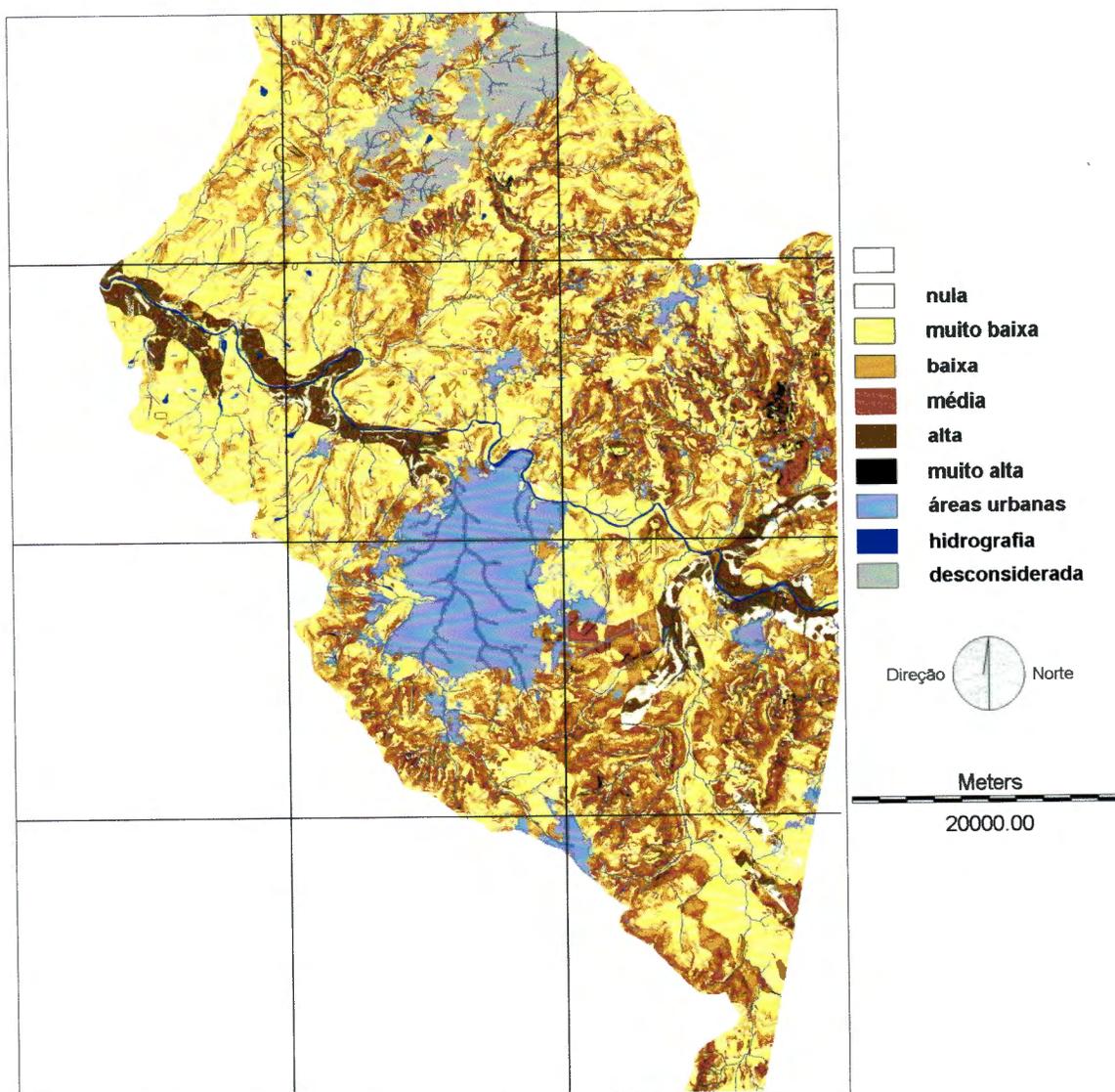
Tabela 5.45: Matriz representativa da criticidade das áreas em relação a degradação da qualidade da água, relacionando-se declividade, pedologia e uso e ocupação do solo.

CLASSE DE SOLO	INTERVALO DE DECLIVIDADE				
	0 – 2%	2 – 5%	5 – 10%	10 – 20%	> 20
Vegetação natural e Reflorestamento					
Solos Hidromórficos ¹²	MB	MB	-	-	-
Latossolos	MB	MB	MB	MB	MB
Areia Quartzosa	MB	MB	MB	MB	MB
Litossolos	MB	MB	MB	MB	MB
Pastagens (campos)					
Solos Hidromórficos	B	B	-	-	-
Latossolos	MB	MB	MB	B	M
Areia Quartzosa	MB	MB	B	M	A
Litossolos	MB	B	M	A	MA
Cana-de-açúcar					
Solos Hidromórficos	M	M	-	-	-
Latossolos	MB	MB	B	M	A
Areia Quartzosa	B	B	M	A	MA
Litossolos	B	M	A	MA	MA
Culturas Anuais (solos expostos)					
Solos Hidromórficos	A	A	-	-	-
Latossolos	MB	MB	MB	B	M
Areia Quartzosa	MB	MB	B	M	A
Litossolos	MB	B	M	A	MA

Fonte: Adaptado de RANIERI (1996) para suscetibilidade à erosão.

MA: Muito Alta A: Alta M: Média B: Baixa MB: Muito Baixa

¹² Os Solos Hidromórficos aparecem margeando os rios, nas áreas de inundação dos mesmos, portanto em baixas declividades. Por esse motivo, solos hidromórficos em médias e altas declividades não foram classificados de acordo com o sistema adotado.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.56: Mapa de criticidade 1 - (Declividade = Pedologia = Uso e Ocupação do solo).

Tabela 5.46: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 1.

Criticidade	Área (km²)	Área (%)
Nula	52	3
Muito baixa	1.111	45
Baixa	543	22
Média	255	10
Alta	155	6
Muito alta	4	0,1
Áreas urbanas	213	8
Hidrografia	60	2,4
Áreas desconsideradas	91	3,5
Total	2.484	100

Ao observar a tabela 5.46 verifica-se que solos hidromórficos isentos de qualquer uso e ocupação humana se enquadram na criticidade nula. Esses solos, naturalmente, funcionam como filtros de nutrientes que possam atingir os cursos d'água e, devido a esse fato, foram enquadrados na classe criticidade nula.

Há predominância na área de estudo de criticidade muito baixa, principalmente em regiões próximas aos rios, demonstrando, pois, que a declividade é um fator importante a ser considerado no escoamento superficial.

Criticidade média aparece de forma razoável e criticidade alta e muito alta aparecem em áreas muito reduzidas, muitas vezes nas cabeceiras dos rios, o que pode ser um indicativo de contaminação das nascentes. Circundando as áreas urbanas também aparecem criticidades médias, altas e muito altas. Isto demonstra a sua interferência na qualidade das águas e este fato se agrava mais ainda porque as cidades estão localizadas e se expandem em direção aos rios, principalmente a cidade de Ribeirão Preto. Áreas não consideradas correspondem à nuvem e sombra de nuvem, não sendo identificadas as ocupações pelo satélite.

5.6.2 Mapa de Criticidade 2

Para a construção do mapa de criticidade 2 (figura 5.28) também foram considerados fatores de mesmo peso, o uso e ocupação do solo, declividade e pedologia. Entretanto, os critérios de ponderação das classes dentro de cada fator foram diferentes.

As classes dentro do uso e ocupação do solo receberam os seguintes pesos:

- vegetação natural e reflorestamento (nota 1,0);
- pastagens (nota 2,0);
- cana-de-açúcar (nota 3,0) e
- solos expostos/culturas anuais (nota 4,0)

As áreas urbanas não foram ponderadas, já que se trata de escoamento superficial por fontes difusas.

As classes de declividade obtiveram as notas seguintes:

- 0-2 % (nota 1);
- 2-5 % (nota 2);
- 5-10 % (nota 3);
- 10-20 % (nota 4) e
- >20 % (nota 5).

Neste caso supõe-se que quanto maior a declividade, maior será o escoamento superficial.

Quanto às classes de solos, as mesmas foram ponderadas considerando-se sua permeabilidade:

- solos hidromórficos (nota 1,0);
- latossolos (nota 2,0);
- areia quartzosa (nota 3,0) e
- solos litólicos (nota 4,0).

Após à ponderação das classes, utilizando-se o módulo CROSSTAB do IDRISI, foi possível cruzar os dados contidos em cada fator considerando-se suas respectivas notas. Cada mapa foi reclassificado, atribuindo-se identificadores na ordem crescente da ponderação. É

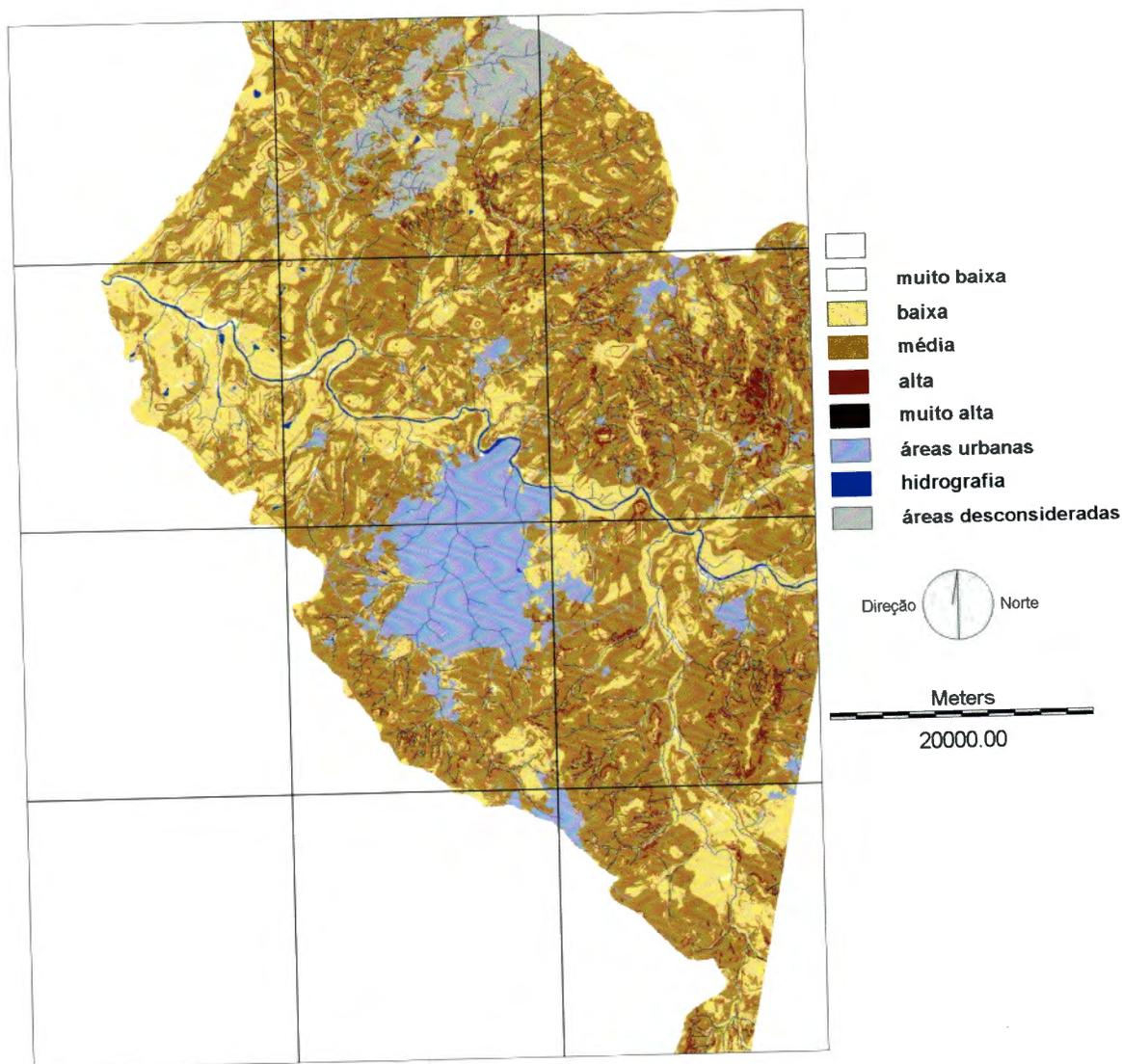
importante ressaltar que, por exemplo, se a classe solos hidromórficos recebeu identificador 1 e a classe latossolos recebeu identificador 2, isto indica que a primeira tem a metade da significância da segunda. Entretanto, na realidade, este fato não acontece. Porém, para determinar exatamente o quanto uma classe é mais significativa que outra teria que realizar estudos em campo, verificando as características de cada fator que possam estar corroborando para um maior escoamento superficial. Este estudo fica, portanto, fora do escopo do trabalho.

Verificando-se a tabela 5.47 e a figura 5.57, observa-se que há um predomínio na área de estudo de criticidade média, diferenciando estes resultados dos obtidos no mapa criticidade 1. Ambos tiveram os fatores uso e ocupação, declividade e pedologia com pesos iguais, porém, os critérios adotados para ponderação das classes de cada fator, foram diferentes. Este fato chama a atenção no sentido da subjetividade da ponderação. De acordo com os critérios adotados, pode-se obter resultados bastante diferentes.

Tornam-se necessários, no entanto, estudos que possam verificar o quanto a alteração dos critérios pode intervir no mapa final, considerando sempre o objetivo do trabalho. Ainda neste mapa, pode-se observar criticidade média margeando os rios e pequenas áreas com criticidade alta, coincidentes com as encontradas no mapa criticidade 1. A criticidade muito alta quase não aparece e as áreas desconsideradas também referem-se à nuvem e sombra de nuvem.

Tabela 5.47: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 2.

Criticidade	Área (km²)	Área (%)
Muito baixa	12,15	0,48
Baixa	689,37	27,75
Média	1.350,74	54,36
Alta	68,10	2,75
Muito alta	0,00	0,00
Áreas urbanas	213,00	8,57
Hidrografia	60,26	2,42
Áreas desconsideradas	91,22	3,67
Total	2.484,84	100



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.57: Mapa de criticidade 2 - (Declividade = Pedologia = Uso e Ocupação do solo).

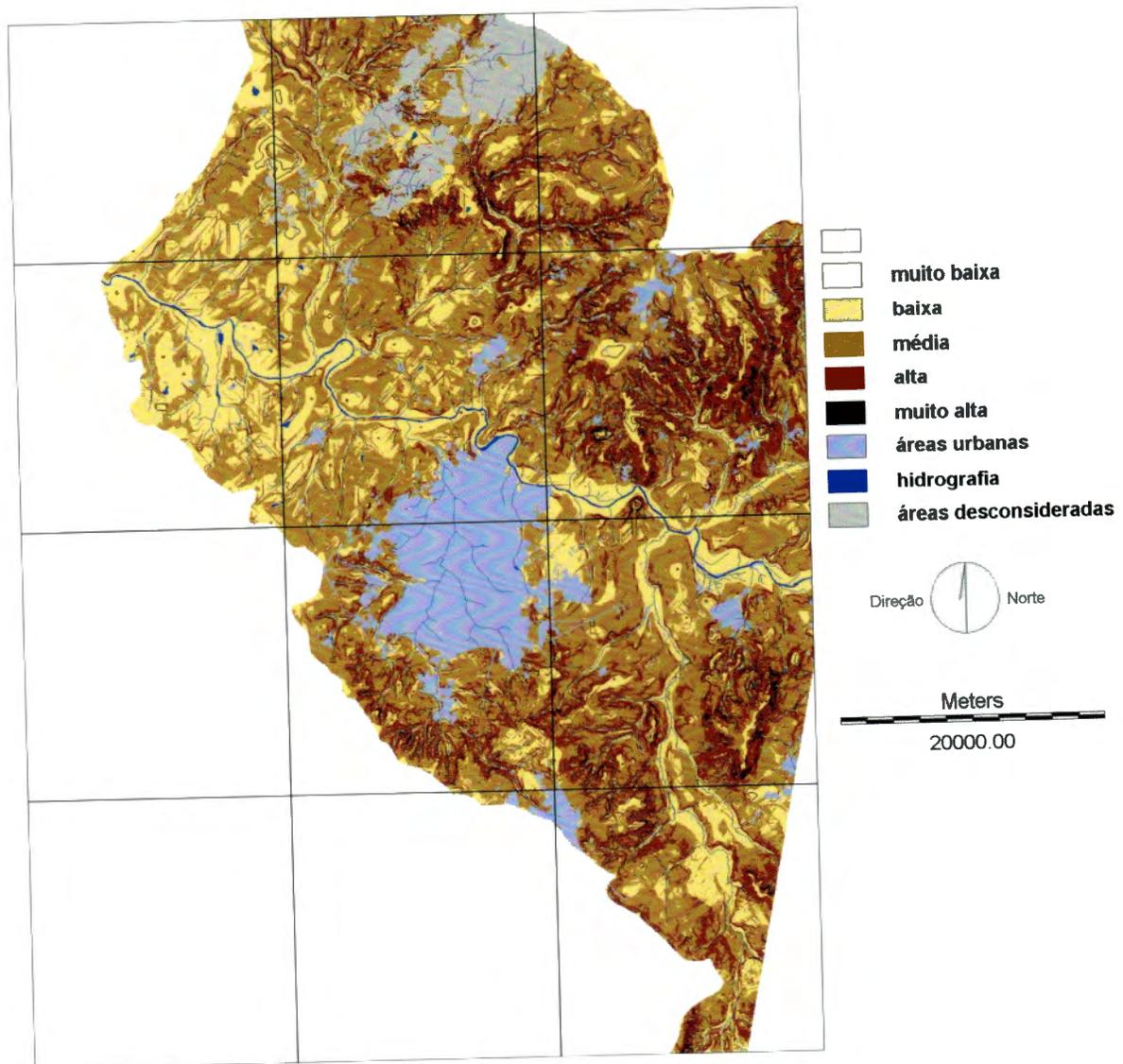
5.6.3 Mapa de Criticidade 3

Para a construção do mapa criticidade 3 (figura 5.58), foram utilizados os mesmos critérios do mapa criticidade 2, diferenciando apenas os pesos para os fatores, que neste caso, foram ponderados da seguinte forma: declividade (peso 0,5), pedologia (peso 0,3) e uso e ocupação do solo (peso 0,2).

Tabela 5.48: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 3.

Criticidade	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	1,60	0,06
Baixa	564,30	22,70
Média	1.105,90	44,54
Alta	394,16	15,86
Muito alta	54,40	2,18
Áreas urbanas	213,00	8,57
Hidrografia	60,26	2,42
Áreas desconsideradas	91,22	3,67
Total	2.484,84	100

Ao observar a tabela 5.48 e a figura 5.58, nota-se que houve, mais uma vez, modificação do cenário. Neste caso, ocorre o predomínio de criticidade média como no mapa criticidade 2 e a criticidade baixa margeia os rios, já que nestas áreas a declividade é baixa e a mesma recebeu peso maior. Porém, as áreas correspondentes à criticidades alta e muito alta apresentam-se maiores que nos dois primeiros mapas. É interessante ressaltar que, as áreas de criticidade muito alta continuam coincidindo com as dos mapas anteriores, confirmando pois, que estas áreas realmente devem estar contribuindo de forma drástica para o escoamento de nutrientes que atingem os rios, causando assim a sua poluição.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.58: Mapa de criticidade 3 - (Declividade > Pedologia > Uso e Ocupação do solo).

5.6.4 Mapa de Criticidade 4

Para construção do mapa criticidade 4 (figura 5.59) também utilizou-se o mesmo método utilizado para os mapas criticidade 2 e 3, sendo modificada apenas, a ponderação dos fatores. A declividade continua com peso 0,5, considerando-se que na realidade este fator é o mais significativo em relação ao escoamento superficial. O uso e ocupação do solo recebe agora peso 0,3, enquanto a pedologia recebe peso 0,2.

Tabela 5.49: Áreas correspondentes ao mapa Criticidade 4.

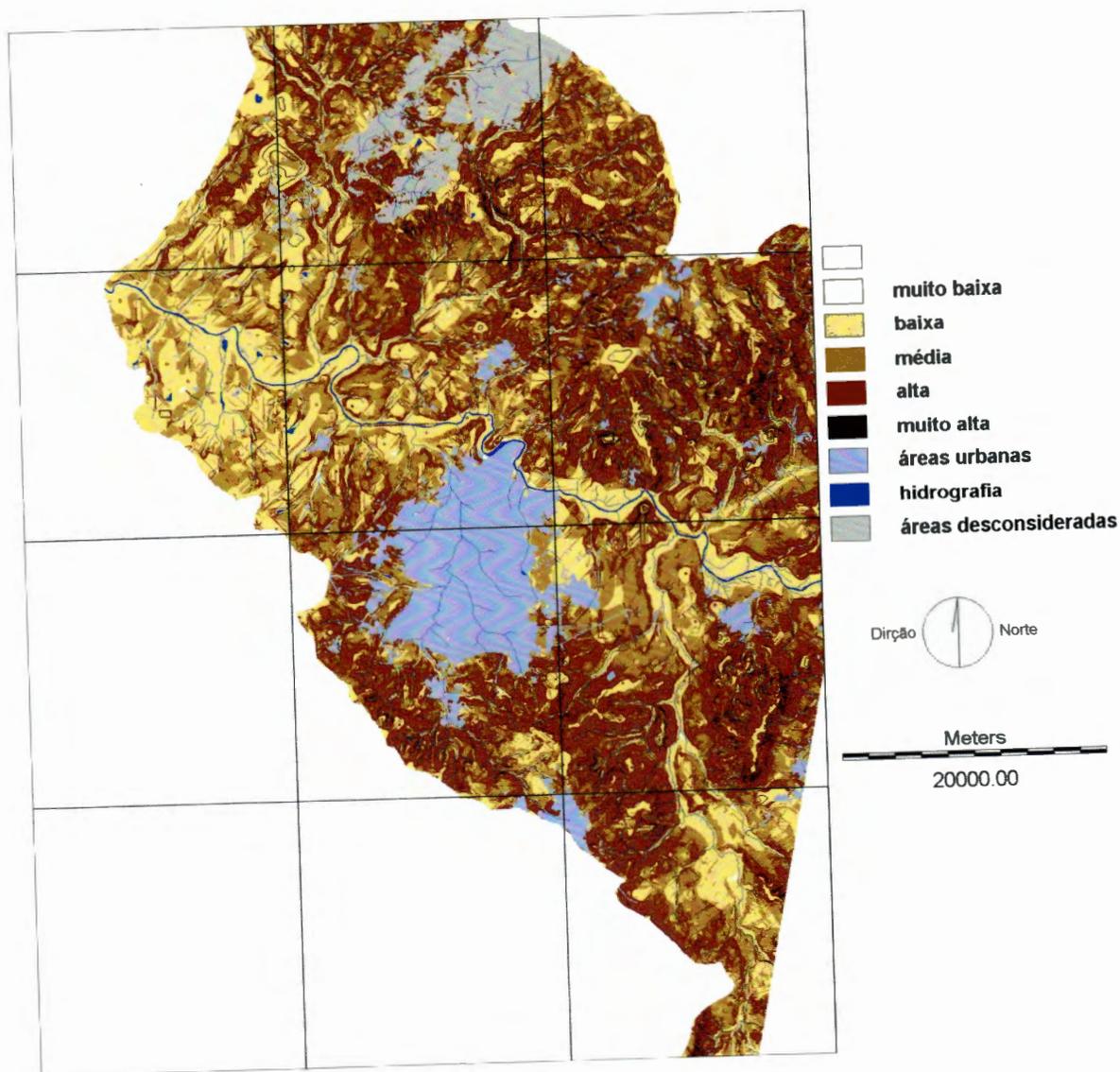
Criticidade	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	5,5	0,22
Baixa	558,46	22,48
Média	723,00	29,10
Alta	779,30	31,37
Muito alta	54,10	2,17
Áreas urbanas	213,00	8,57
Hidrografia	60,26	2,42
Áreas desconsideradas	91,22	3,67
Total	2.484	100

Observando-se os resultados obtidos na tabela 5.49 e na figura 5.59, pode-se inferir que o uso e ocupação do solo, recebendo peso maior que pedologia, interfere de maneira drástica no cenário, indicando um aumento da criticidade na área em estudo, de maneira geral. Neste cenário, há um predomínio da criticidade alta o que não ocorreu nos mapas de criticidade obtidos anteriormente. A criticidade baixa continua aparecendo nas margens dos rios e a criticidade muito baixa quase não aparece, fato verificado também nos mapas de criticidade 1, 2 e 3. Quanto à criticidade média, pode-se dizer que ocupa áreas razoáveis, enquanto a criticidade muito alta ocupa áreas similares às áreas ocupadas pela mesma criticidad, nos mapas anteriores.

De maneira geral, analisando-se todos os mapas de criticidade obtidos, ressaltam-se áreas com criticidade significativa quanto ao

escoamento superficial, havendo modificação no tamanho da área ocupada por cada classe de criticidade, porém, mantendo-se coincidentes para todos os mapas as áreas de criticidade mais elevada. Seria interessante em um trabalho futuro, visitas à campo, para verificar se, realmente, nestas áreas ocorrem valores altos quanto à criticidade em relação à declividade, pedologia e uso e ocupação do solo.

Vale lembrar ainda que, quanto mais próximas essas áreas de criticidade alta estiverem dos rios, maior será a sua contribuição para a poluição dos mesmos e que as fontes pontuais, não levantadas neste item, contribuem bastante para o processo de degradação da qualidade das águas, ainda mais sabendo-se que há indústrias de grande porte instaladas na área de estudo e que o esgoto sanitário não passa por tratamento algum antes de ser lançado nos rios.



Coordenadas (UTM): 176.000mE, 236.000mE, 7620.000mN e 7698.000mN.

Figura 5.59: Mapa de criticidade 4 - (Declividade > Uso e Ocupação do solo > Pedologia).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir de meados deste século, inicia-se no Brasil um processo intenso de exploração dos recursos naturais em função do desenvolvimento industrial e conseqüente expansão urbana, visando o “crescimento econômico” do país. Como conseqüência desse processo, manifestaram-se os problemas de ordem ambiental. Inserido neste contexto, ressalta-se a degradação da qualidade dos recursos hídricos.

A água é um elemento vital à sobrevivência das espécies e presta-se a diversos usos humanos. Porém, muitos destes usos geram resíduos líquidos que retornam aos cursos d’água, causando a sua poluição e degradação.

A poluição das águas sucede-se por meio de fontes pontuais, como as cidades e indústrias e por fontes difusas, principalmente, a agricultura. Portanto, verifica-se que o uso e ocupação do solo encontra-se diretamente relacionado à qualidade da água. Devido a este fato, tornam-se necessários estudos visando um planejamento eficaz das atividades do Homem, a fim de mitigar a situação atual de degradação e prevenir a escassez futura desse recurso.

Os rios do Estado de São Paulo apresentam níveis de poluição bastante elevados em função do maior desenvolvimento econômico desta região. Nesse contexto, insere-se o rio Pardo que percorre região essencialmente agrícola e recebe afluentes contendo resíduos provindos de várias cidades, citando-se como exemplo, os da cidade de Ribeirão Preto, com aproximadamente 500.000 habitantes.

Nesta região da bacia hidrográfica do rio Pardo destaca-se, nas últimas décadas, a expansão da cana-de-açúcar devido à implantação do PRÓALCOOL. Concomitantemente à expansão agrária ocorre a ampliação da utilização de insumos agrícolas em grande escala e, como conseqüência, um aumento no aporte de poluentes que atingem o rio pelo escoamento superficial.

Considerando-se o cenário apresentado, foi proposto o presente estudo, visando desenvolver uma metodologia para determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do Médio Pardo, no período compreendido de 1985 a 1997.

Com a utilização dos dados de qualidade de água superficial, obtidos em órgãos relacionados ao monitoramento desse recurso, foi possível inferir sobre a evolução do seu processo de degradação. O Sistema de Informações Geográficas também foi utilizado como importante instrumento na obtenção de dados contidos em cartas geográficas que, em conjunto com as imagens de satélite, permitiram a construção de mapas indicando a criticidade de áreas que possam estar contribuindo para a redução da qualidade da água. Foi levantado ainda um modelo matemático de autodepuração, QUAL-2E, baseando-se nas equações de STREETER-PHELPS, com o intuito de verificar a contribuição por fontes difusas.

É importante ressaltar que, a metodologia desenvolvida e aplicada à região do Médio Rio Pardo encontra algumas limitações como, por exemplo, a grande dimensão da área em estudo, a ausência e/ou a não confiabilidade dos dados, a interrupção da seqüência dos dados no decorrer do período considerado, mapas em escalas diferentes, dificuldades na interpretação dos dados obtidos pelo satélite para a determinação das classes de uso do solo, subjetividade na ponderação dos fatores para a construção dos mapas de criticidade, entre outros.

Entretanto, esta pesquisa justifica-se por desenvolver metodologia pioneira em uma região pouco estudada, integrando dados levantados da literatura, SIG, Sensoriamento Remoto e aplicação de modelo de autodepuração. A qualidade da água nesse local precisa ser avaliada pois pode estar sendo comprometida de forma significativa pelas fontes de poluição mencionadas anteriormente, o que poderá restringir, futuramente, os usos a que se destina.

Observou-se, sobretudo, que existem implantadas na região um número significativo de indústrias sucroalcooleiras, produzindo uma enorme quantidade de resíduos que são, predominantemente, lançados ao solo,

atingindo posteriormente os cursos d'água. Um outro aspecto importante levantado foi a redução de metade da vegetação natural em 12 anos, estando inclusas nesta devastação as matas ciliares, de papel indiscutível na manutenção da qualidade da água dos rios.

Considerando um crescimento de aproximadamente 40% na área ocupada por cana-de-açúcar de 1985 para 1997, estima-se que esteja ocorrendo um aumento correspondente no uso de insumos agrícolas, resultando, em um incremento de nutrientes que atingem o rio Pardo.

Analisando-se os mapas de criticidade obtidos, verifica-se uma coincidência de áreas bastante críticas com relação à declividade, pedologia e uso e ocupação do solo que podem estar interferindo, de forma intensa, na capacidade de suporte das águas superficiais e, portanto, devem ser alvo de atenção no controle da qualidade das águas, notadamente, para o transporte de nutrientes.

Para garantir os diversos usos a que a água desse rio se destina, é necessário que se tome algumas medidas como, por exemplo, a proteção da vegetação remanescente e implantação de um programa de recuperação das matas ciliares. O planejamento da ocupação e uso das terras também é relevante, bem como um disciplinamento na aplicação de insumos agrícolas utilizados na cultura de cana-de-açúcar, que já ocupava em 1997, 60% da área de estudo.

Objetivando dar continuidade ao trabalho em questão, algumas sugestões podem ser colocadas, como:

- Coleta e análise criteriosa de dados referentes aos parâmetros de qualidade de água em vários pontos do rio Pardo para que possam ser aplicados com confiabilidade, modelos de qualidade de água.
- Verificar o quanto as sub-bacias determinadas estão interferindo, na qualidade da água de acordo com as suas características.
- Desenvolver trabalho de campo verificando-se os possíveis erros de interpretação das imagens de satélite e o quanto estes

interferem nos resultados do trabalho, considerando-se seus objetivos.

- Estudar regiões com uso e ocupação do solo diferentes, utilizando-se cartas em escalas também distintas para concluir a respeito da perda de detalhes ao se passar de uma escala para outra, bem como, seu significado na precisão dos resultados.
- E, finalmente, escolher uma sub-bacia dentro da área em estudo, cujo uso e ocupação do solo estejam refletindo na degradação da qualidade da água e aplicar a metodologia desenvolvida, utilizando-se de preferência, mapas em escalas confiáveis e imagens de satélite recentes ou, ainda, a utilização de fotos aéreas da região.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C. M. A. (1997). *A Ponderação dos fatores ambientais - com uso se sistema de informações geográficas - na localização de atividades econômicas e na cobrança pelo uso da água para irrigação*. São Carlos, SP. 138p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ARCEIVALA, S. J. (1981). *Waste water treatment and disposal*. Marcel Dekker. New York, EUA, 892 p.

AUGUSTO, A. A. Z (1996). *A atualização cartográfica da rede de drenagem e a análise morfológica do relevo*. Rio Claro, SP. Trabalho de Graduação . Universidade Estadual de São Paulo.

BANCO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO.
(1997) São Paulo, SP. ANEEL.

BARGUIL, S. R. (1998). *Geoprocessamento aplicado ao monitoramento de cerrado: um estudo de caso na porção noroeste da APA Corumbataí (SP)*. São Carlos, SP. 130p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.

BARTH, F. T. et al. (1987). *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo, SP. Nobel IABRH, *Coleção ABRH de Recursos Hídricos*. V.1.

BRANCO, S.M. (1983). *Poluição: a morte de nossos rios*. São Paulo, SP. ASCETESB.

BRANCO, S. M. (1986). *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo, SP. CETESB/ASCETESB, 3ª ed.

BRANCO, S. M. (1991). A Água e o Homem. In.: *Hidrobiologia ambiental*. São Paulo, SP. EDUSP/ABRH, parte I, p.3-25.

BRASIL, Leis. Lei nº 4.4.771/65, alterado pelas leis nº 7.803/89 e nº 7.875/89. *Código Florestal*.

BRASIL, Leis. (1981). Lei nº6.938 de 31/08/1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG. FIEMG, Coletânea da Legislação Ambiental.

BRASIL, Leis. (1986). Ministério do desenvolvimento urbano e meio ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18/6/1986. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 de julho, p.11356.

BURROUGH, P. A. (1987). *Principles of Geographic Information Systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford, 193p.

CARDOSO, H. E. A. (org.). (1997). *Fundamentos de SIG*. A tecnologia da informação a serviço do desenvolvimento. Viçosa, MG. SRH/MMA/Núcleo SIGEO. Vol.1. 80p.

CARGIL, Fundação. (s/d). *Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização*. Piracicaba, SP. Vol.1.

CASER V. et al. (1991) *Previsões e estimativas*. V.21 , p.67.

- CERUCCI, M. (1998). *A análise da eficácia do estudo prévio de impacto ambiental quanto a aplicação de metodologias para a localização de empreendimentos*. São Carlos, SP. 130p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Básico). (1986). *Legislação/CETESB*. São Paulo.
- CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Básico). (1988). *Legislação estadual de controle de poluição ambiental*. São Paulo.
- CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Básico). (1989). *Contaminação por agrotóxicos em bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*. São Paulo. Programa de ecotoxicologia, vol.1.
- CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Básico). (1992). *Relatório de águas interiores do Estado de São Paulo - Bacia do Rio Pardo*. São Paulo.
- CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Básico). (1997). *Reconstituição do regime do rio nas épocas de amostragem. Qualidade das águas do rio Pardo*. São Paulo.
- CHRISMAN, N. (1999). *Exploring Geographic Information Systems*. New York, John Wiley & Sons, 1997, 298 p. (ISBN 0-471-10842-1, paperback). <http://www.fatorgis.com.br/resenha>.
- CHUVIECO, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ed. RIALP, s.a Madrid.
- CNPMA (Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental). (1997). *Uso de solo, comportamento de*

agroquímicos e qualidade da água em área de cultivo de cana-de-açúcar. Jaguariuna, S.P. Informativo ano V, nº 19 EMBRAPA.

COIMBRA, R. M. (1991). Monitoramento da qualidade da água. In.: *Hidrobiologia ambiental*. São Paulo, SP: EDUSP/ABRH, parte III, p.391-411.

CONAMA 20, Resolução. (1986). Resolução nº 20 de 18.06.86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CORSON, W. H.; Tradução: CAMARU, A. G.(1993). *Manual global de ecologia - o que você pode fazer a respeito da crise do meio-ambiente*. P.315.

CRÓSTA, A. P. (1996). Sensoriamento de alta resolução: novas ferramentas para o monitoramento ambiental, urbano e de recursos naturais. In: *Anais do Congresso de Geoprocessamento - GIS BRASIL 96*. Curitiba, PR.

CUNHA, A . S. (1992). *Agricultura, recursos naturais e o meio ambiente*. Agricultura em São Paulo. São Paulo, SP.

DAEE. *Cadastro de indústrias das bacias dos rios Pardo e Mojiguaçu*. Centro de documentação técnica.

DANGERMOND, J. (1992). What is a Geographic information System (GIS)? In: JOHNSON, A .I.; PETERSSON, C. B.; FULTON, J. L. *Geographic Information Systems (GIS) and mapping - practices and standards*. ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, EUA. P.11-17.



- DEMATTÉ, S.L.I. (1993). *Manejo e conservação dos solos para cana-de-açúcar*. Piracicaba, SP. ESALQ. Universidade de São Paulo. Ed. FEALQ.
- DOBBINS, W. E. (1964). BOD and oxygen relationships in streams. *Journal of the sanitary engineering division*. ASCE. P.54-78.
- EASTMAN, J. R. (1995). *IDRISI for Windows, User's Guide*. Worcester, Clark University. 372p.
- EBERT, H. D. et. al. (1993). Confecção de Mapas Geológicos com o Programa Autocad. Rio Claro, SP. *Simpósio de Quantificação*. Minicurso. P.113-115.
- EHLERS, M. (1991). Remote sensing and geographic information systems : image integrated information systems. In: JOHNSON, A. I.; PETERSON, C. B., FULTON, J. L. *Geographic Information Systems (GIS) and mapping – practices and standards*. ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA. P. 53-67.
- EIGER, S. (1991). Qualidade da água em rios e estuários. In: PORTO, R. L. L., org. *Hidrologia ambiental*. São Paulo, SP. EDUSP/ABRH. Parte II. P.148.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (1997). Relatório parcial de atividades do projeto "Impacto ambiental e implicações Sócio-Econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea". *Relatório de atividades – 1997 - Embrapa*, Jaguariúna, SP. 16 p.

ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos de limnologia*. FINEP, Rio de Janeiro, RJ.

FONTES, M. S. G. C. (1993). *Impactos do crescimento populacional no ambiente: urbanização*. Monografia referente à disciplina: Tópicos Especiais em Engenharia Ambiental. São Carlos, SP. CRHEA. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FONTES, A. T. (1997). *Aspectos do macrozoneamento utilizando SIG enquanto instrumento de gestão ambiental: diagnósticos e cenários regionais no estudo de caso da região de Ribeirão Preto – SP*. São Carlos, SP. 67p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GASTALDINI, M. C. C. (1992). *Análise do mecanismo de autodepuração do rio Jacaré-Guaçu através de modelo de qualidade de água*. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GELMINI, G. A. (1988). *Herbicidas - indicações básicas*. Campinas, SP. Secretaria da Agricultura. Manual CATI nº 20.

GOMES, M. A. F. (1997). *Impacto ambiental e implicações sócio-econômicas da agricultura intensiva de cana-de-açúcar - estudo de caso em Ribeirão Preto - SP*. EMBRAPA-CNPMA, Jaguariúna, SP.

GUIMARÃES, M. B.; SARMENTO, R. (1997) O uso da modelagem computacional como ferramenta para o planejamento ambiental – aplicação ao rio Santa Maria da Vitória. *XII Simpósio Nacional de Recursos Hídricos*. Vitória, ES. Universidade Federal do Espírito Santo. p. 1-6.

HIDROSERVICE/SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). (1989). *Plano Diretor de Saneamento Básico das Bacias dos Rios Pardo, Mojiguaçu e Sapucaí Mirim*.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Censos Demográficos de 1970 a 1996, Censos Industriais de 1970 a 1985 e Censo Agropecuário de 1980 e 1985*.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), (1990). RELATÓRIO N°28.184 suscetibilidade à erosão por ravinas e boçorocas. *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Bacia do Pardo Grande - São Paulo, SP. Vol.3*.

JOÃO, E.M. (1999). *Causes and consequences of Map generalisation*. Londres, Taylor & Francis, 1998, 266 p. (ISBN 0-7484-0777-4, hard; 0-7484-0776-6, paperback). <http://www.fatorgis.com.br/resenha>.

KOUSSIS, A. D. et al. (1990). Modeling OD conditions in streams with dispersion. *Journal of environmental engineering*. V.116, nº3, p. 601-613, may/june.

LAZZAROTTO, D. R. (1999). <http://www.fatorgis.com.br/geoproc/sr.shtml>.

LIMA, C. A. A. (1997). *O uso do modelo Qual2E na simulação da qualidade das águas do rio Jacaré-Guaçu*. São Carlos, SP. 179p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOAGUE, K.; CORWIN, D. L.; ELLSWORTH, T. R. (1998). The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science & Technology*. P. 130 - 133.

LOBO, M. L. C. (coord.). (1999). *Plano de controle da Bacia do Alto Paraguai*. Curitiba, PR. Programa Nacional do Meio Ambiente/BIRD/PNUD, Universidade Federal do Paraná.

LOUCKS, P., ed. (1994). *Water resources manangement: focusing on sustainability*. Paris, UNESCO. Technical Document in Hydrology/ International Hydrological Programme.

LOWRANCE, R. R (1998). Riparian zones protect stream water. *In: Journal of environmental quality*, vol.27, nº 3. P.479.

MACROZONEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE. (1995). *Questões sócio-ambientais regionais*. Secretaria do Meio Ambiente; Secretaria da Agricultura e Abastecimento; Secretaria de Economia e Planejamento; Governo do Estado de São Paulo. Vol.1.

MAIA NETO, R. F. (1997). *Água para o desenvolvimento sustentável*. Belo Horizonte, MG. CPRM, Ensaios e Dissertações, A *Água em Revista*.

McCUTCHEON, S.C. (1989). *Transport and surface exchange in rivers*. CRC Press, inc, *Boca Raton Water Quality Modeling*. V.1.

MELLO, R. (1997). *Custos ambientais de agroecossistemas da cana-de-açúcar*. São Carlos, SP. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MENEGUETTE, A. (1999). *Courseware em ciências cartográficas*. Unesp – Campus de Presidente Prudente. SP.
<http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete>.

MERICO, L.F.K. (1996). *Introdução à Economia Ecológica*. Blumenal, SC.

MUSCUTT, A. D.; HARRIS, G. L.; BAILEY, S. W.; DAVIES, D. B. (1993). Buffer zones to improve water quality: a review of their potencial use in UK agriculture. *In: Agriculture, Ecosystems and Environment*. V. 45. P. 59-77.

NOVARTIS AGRO, Guia de Produtos. (1998). São Paulo, SP.

NOVO, E.M.L.M. (1992). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, SP. Editora Edgard Blücher. 308p.

NOVO, E. M. L. M. (1998) Apostila: *Sensoriamento remoto de sistemas aquáticos*. São Carlos, SP. Disciplina de pós-graduação em ciências da engenharia ambiental. CRHEA, Universidade de São Paulo.

NOVO, E. M. L. M. (1999). <http://www.dpi.inpe.br>.

NUCATE/UNICAMP/EMBRAPA (1999). Monitoramento por Satélite. *SIG na Avaliação do Impacto Ambiental e da Suscetibilidade Agrícola*. Campinas, SP. <http://www.nma.embrapa.br/projetos/cmp/index.html>.

ODUM, E. P. (1988). *Ecologia*. P. 117.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. (1987). Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Ribeirão Preto. Memorial descritivo. *Boletim científico n° 7 do IAC*. Campinas, SP. 133 p.

OLIVEIRA, E. M. (1995). *Macrozoneamento das bacias dos rios Mogi-Pardo-Médio Grande: uma experiência de planejamento e gestão ambiental no nordeste paulista*.

OLIVEIRA, L. M. DE (1998). *Controle de fontes dispersas de poluição pela fixação de largura mínima de faixa de vegetação natural ou recomposta ao longo de corpos d'água*. São Carlos, SP. 113p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAULA JÚNIOR, D.R. DE. (1995). Impacto ambiental da agroindústria: tecnologias para controle de resíduos. In: *Análise de Impacto Ambiental - Estratégias e Ações*. São Paulo, SP. Fundação Salim Farah Maluf. P.248-252.

PAVESI, A. (1998). *Investigação dos fatores ambientais intervinientes no procedimento de determinação do potencial irrigável de bacias hidrográficas e na implementação de instrumentos econômicos de gestão dos recursos hídricos*. São Carlos, SP. 125p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PEZZOTTI, A. A. et. al. (1994). *Proposta Metodológica para Elaboração de uma Base Cartográfica Digital para Utilização em SIG*. Presidente Prudente, SP. Trabalho de Graduação, Universidade Estadual de São Paulo.

PIÃO, A. C. S. (1995). *Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo ribeirão dos Carrapatos município de Itaí (SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (represa de Jurumirim)*. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos (1995). Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Ciência Hoje*. V.19, n.110, p.40-45.

PLANALSUCAR. (1981). Adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. *Boletim técnico do programa nacional de melhoramento da cana-de-açúcar*. Piracicaba, SP.

PLANALSUCAR. (1983). Aplicação da vinhaça como fertilizante. *Boletim técnico do programa nacional de melhoramento da cana-de-açúcar*. Piracicaba, SP. V. 5, nº 1, p.1-38.

PLANALSUCAR. (1985). *Manual de orientação do programa nacional de melhoramento da cana-de-açúcar* - Portaria SNVS/MS nº 10. Piracicaba, SP.

ROMPEU, C. T. (1976). *Regime jurídico da polícia das águas públicas*. São Paulo, SP. Conceito de poluição. CETESB. Cap. 3, pg.41.

RQA (1994). Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica. Contrato nº 2000896. *Concepção, Estudos de Apoio e Aproveitamento*.

RANIERI, S.B.L. (1996). *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)*. São Carlos, SP. 128p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RELATÓRIO DO PROGRAMA DE INVESTIMENTOS. (1994). *Contrato N° 2000896: Concepção estudos de apoio e preparação de programa de investimentos para proteção e aproveitamento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí*.

Consórcio Figueiredo Ferraz – COPLASA. Governo do Estado de São Paulo.

ROSARIO, A. M.; PECCIOLI FILHO, R. C. (1999). *Projeto de monitoramento da bacias hidrográficas do rio Passaúna (PR)*. Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná.

SACHS, I. (1997). *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais*. Campinas, SP. Instituto de Economia, UNICAMP, prefácio.

SALVADOR, N. N. B. (1990). *Avaliação de impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos*. São Carlos, SP. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados). (1990). Valor adicionado em 1990.

SMA (Secretaria do Meio Ambiente). (1974). *Levantamento da cobertura vegetal e reflorestamento no Estado de São Paulo*.

SMA/CPM (1991). *Programa olho verde*.

SIMONETT, O. (1993). *Geographic Information Systems for environmental and development*. Zurich, Geographisches Universitat Zurich-Irchel.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. (1992). *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Rio Claro, SP, Edição do autor.

TIETENBERG, T. H. (1994). Administrando a transição para um desenvolvimento sustentável: o papel dos incentivos econômicos. In.

- MAY, P. H.; MOTTA, R. S. DA (orgs.) *Valorando a Natureza. Análise Econômica para o Desenvolvimento Sustentável*. Ed. Campus. P. 93-109.
- TROIANO, J. & GARRETSON, C. (1998). Movement of simazine in runoff water from orchard row middles as affected by mechanical incorporation. *In: Journal of environmental quality*, vol.27, n° 3, p.488 - 494.
- TUFFORD, D. L.; Mc KELLAR JR., H.N.; HUSSEY, J.R.(1998). Stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. *In: Journal of environmental quality*.
- VOUGHT, L. B.; DAHL, J.; PEDERSEN, C. L.; LACOURSIÈRE, J. O . (1994). Nutrient retention in riparian ecotones. *In: Ambio*, v.23, n° 6, p. 342-348.
- XIANG, WEI-NING. (1993 a). A GIS method for water quality buffer generation model to environmental policy evaluation. *In: Int. J. Geographical Information Systems*, v.7, n° 1, p.57-70.
- XIANG, WEI-NING. (1993 b). Aplication of a GIS-based stream buffer generation model to environmental policy evaluation. *In: Environmental Management*, v. 17, n° 6, p.817-827.
- ZAMBELLO JR., E.; FRANCISCO, J. O .(1981). Adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. Piracicaba, S.P. *Boletim técnico PLANALSUCAR*.