UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

"EXPANSÃO DA MANCHA URBANA E SUAS CONSEQUÊNCIAS SOBRE OS MANANCIAIS DO RIO DO MONJOLINHO E DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP".

Carlos Wilmer Costa

Itajubá, novembro de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Carlos Wilmer Costa

"EXPANSÃO DA MANCHA URBANA E SUAS CONSEQUÊNCIAS SOBRE OS MANANCIAIS DO RIO DO MONJOLINHO E DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP".

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Novembro de 2010
Itajubá - MG

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Cristiane N. C. Carpinteiro- CRB_6/1702

C837e

Costa, Carlos Wilmer
Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do monjolinho e do ribeirão do feijão da cidade de São Carlos, SP. / por Carlos Wilmer Costa. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2010.
127 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas.
Co-orientadora: Profa. Dra. Juliana Garcia Cespedes.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Expansão urbana. 2. Crescimento populacional. 3. Superfície impermeabilizada. 4. Cenários. 5. Arquífero Guarani. I. Dupas, Francisco Antônio, orient. II. Cespedes, Juliana Garcia, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

"Os que aprendem herdarão a Terra, enquanto os que já sabem estão magnificamente equipados para viver num mundo que não existe mais."

Eric Hoffer

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais Carlos e Maria José (in memorian) por me ensinarem a lutar pelo que queria sem nunca enfraquecer; a minha irmã Bel, meu sobrinho Thales pelo apoio e consideração e a Moema por seu amor, compreensão e carinho.

Ao professor Dr. Francisco Dupas agradeço pela acolhida, orientação e incentivo, despertando um olhar crítico e sede de superação.

A professora Drª. Juliana Cespedes pela coorientação.

A família MEMARH, em especial ao professor Dr. Marcos Bernardes por fazer deste curso um exemplo de interdisciplinaridade e ética.

Aos Professores Drª. Nívea Pons e Dr. Lázaro Zuquette pelo que acrescentaram no trabalho.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.

A Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento para o processo 98/10924-3.

Ao IIE - Instituto Internacional de Ecologia pela disponibilização de dados.

Aos amigos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS VII
LISTA DE TABELAS X
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS XI
RESUMO XIII
ABSTRACT XIV

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO 1

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA 1
1.2. ESTRUTURA 2

CAPÍTULO II - OBJETIVOS 3

2.1. OBJETIVOS GERAIS 3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4

3.1. CRESCIMENTO URBANO, USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E AUMENTO DA DEMANDA HÍDRICA 4
3.2. INSTRUMENTOS E PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS 8
3.3. INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS 14
3.4. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA PLANEJAMENTO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS 22
3.5. AS FUNÇÕES DO MUNICÍPIO NA PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E MANANCIAIS 26
3.6. PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO DE SÃO CARLOS, SIMULAÇÃO DA OCUPAÇÃO DO MANANCIAL DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO E ZONEAMENTO DA VULNERABILIDADE 28

CAPÍTULO IV – MATERIAIS E MÉTODOS 36

4.1. MATERIAIS 36
4.2. LOCALIZAÇÃO E DADOS PRÉVIOS DA ÁREA DE ESTUDO 37
4.2.1. CLIMA 38
4.2.2. RELEVO E HIDROGRAFIA 38
4.2.3. GEOLOGIA 39
4.2.4. AQUÍFERO BOTUCATU OU GUARANI 40
4.2.5. PEDOLOGIA 41
4.2.6. VEGETAÇÃO 41
4.2.7. POPULAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS 41
4.3. MÉTODOS 42

CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÕES 48

5.1. CENÁRIOS FUTUROS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL 48
5.2. ANÁLISE DA DINÂMICA DA MANCHA URBANA DE 1962 A 2006 49
5.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DOS MANANCIAIS DO FEIJÃO E DO MONJOLINHO 56
5.3.1. MANANCIAL DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO 59
5.3.2. MANANCIAL DO RIO MONJOLINHO 70
5.4. AVALIAÇÃO DO MODELO DE EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS 73
5.5. ANÁLISE INTEGRADA, CENÁRIOS, SIMULAÇÕES COM O PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO DE SÃO CARLOS E ALTERNATIVAS FUTURAS 76

CAPÍTULO VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS 93

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 98

ANEXO I – ESTRUTURA DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO MANANCIAL DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO 106
ANEXO II – PROJETO DE LEI QUE DISPÕE SOBRE A CRIAÇÃO DAS APREM 110

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema retratando cenários de bacias hidrográficas agrícolas com a criação de zonas úmidas (adaptado de MORENO-MATEOS & COMIN, 2010).....9

Figura 2. Práticas de regeneração de águas pluviais. (adaptado de CAPPIELLA, 2008).....10

Figura 3. Variedades de práticas de pré-tratamento de águas pluviais (adaptado de HIRSCHMAN, WOODWORTH & DRESCHER, 2009). 11

Figura 4. Quadro síntese da pesquisa para determinação dos valores a serem pagos pelos serviços ambientais do manancial do Feijão (adaptado de MACHADO, 2010 *no prelo*).....13

Figura 5. Relação entre superfície impermeabilizada e indicadores ambientais em bacias hidrográficas (adaptado de SCHUELER, 1994) 15

Figura 6. Relação entre superfície impermeabilizada e vertebrados (adaptado de RANDHIR & EKNESS, 2009). 16

Figura 7. Relação entre superfície impermeável e saúde dos rios (adaptado de SCHUELER, FRALEY-MCNEAL & CAPPIELLA, 2009).....18

Figura 8. Utilização da porcentagem de superfície impermeável em bacias hidrográficas para identificar potencial de gestão (adaptado de BELLUCCI, BEAUCHENE & BECKER, 2009). 19

Figura 9. Curvas de infiltração para diferentes usos do solo na Formação Botucatu (adaptado de ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2006). 21

Figura 10. Zoneamento do Município de São Carlos (adaptado de SÃO CARLOS, 2005) – (FIGURA 44)...30

Figura 11. Simulação de expansão urbana no manancial do Feijão (adaptado de PEREIRA, 2010). 32

Figura 12. Zonemento da vulnerabilidade ambiental no manancial do ribeirão do Feijão (adaptado de CUNHA, 2010). 32

Figura 13. Perda Natural de Erosão no manancial do Feijão (adaptado de OLIVEIRA, 2010). 34

Figura 14. PNE na região periurbana de São Carlos, no detalhe, área no Bairro Cidade Aracy, com PNE muito alto (adaptado de PEDRO & LORANDI, 2004).....34

Figura 15. Condições de predisposição e de poluição de águas subterrâneas no manancial do ribeirão do Feijão (adaptado de ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009). 35

Figura 16 (A e B). Área de estudo e balanço entre disponibilidade x demanda de água no Estado de São Paulo. Fontes: adaptado de: (A) (SÃO PAULO, 2009) e (B) TUNDISI *et al.* (2007).....37

Figura 17. Seção geológica da região de São Carlos (adaptado de ZUQUETTE, 1981).....39

Figura 18. Fluxograma geral do método.....43

Figura 19. Soma dos mapas das áreas impróprias para o uso urbano. 46

Figura 20. Distribuição da população de São Carlos, SP (Fonte: SEADE, 2010). 48

Figura 21. Diagrama de dispersão da população da cidade de São Carlos no período de 1980 a 2009.....49

Figura 22. Mancha urbana no ano de 1962 extraída de fotografias aéreas e bacias hidrográficas utilizadas como mananciais superficiais (adaptado de DUPAS, 2001).....51

Figura 23. Evolução da superfície impermeabilizada em áreas de mananciais. 52

Figura 24. Mancha urbana no ano de 1972 extraída de fotografias aéreas e bacias hidrográficas utilizadas como mananciais superficiais (adaptado de DUPAS, 2001).....53

Figura 25. Delimitação da mancha urbana no ano de 1986 e áreas de mananciais por meio de imagens do satélite LANDSAT 5, composição colorida falsa-cor, bandas 5,4, e 3.....54

Figura 26. Delimitação da mancha urbana no ano de 1996 e áreas de mananciais por meio de imagens do satélite LANDSAT 5, composição colorida falsa-cor, bandas 3,4, e 2.....55

Figura 27. Delimitação da mancha urbana no ano de 2006 e de áreas de mananciais por meio de imagens do satélite Alos, composição colorida falsa-cor, bandas 3,2, e 1.....57

Figura 28. Evolução da superfície impermeabilizada dos anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 para dentro dos mananciais do Monjolinho e do Feijão.....58

Figura 29. Mapa hipsométrico enfatizando a área urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão.....60

Figura 30. Mapa de declividade evidenciando a área urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão.....61

Figura 31. Mapa pedológico com a sobreposição da mancha urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão (adaptado de IAC, 1981, 1982). 62

Figura 32. Mapa de cobertura do solo elaborado a partir da classificação supervisionada da imagem do satélite Alos de 2006 evidenciando a área urbana e os mananciais do Monjolinho e do Feijão 63

Figura 33. Mapa síntese da área de estudo 64

Figura 34. (A) Mapa de cobertura do solo do manancial do Feijão e pontos de amostragens da qualidade da água, (B) área das classes de cobertura do solo, (C) valores de IQA.....65

Figura 35. Atividades relacionadas ao agronegócio suprimindo áreas de cobertura vegetal.....66

Figura 36. Planície de inundação ocupada com pastagem.....66

Figura 37. Retirada de água para irrigação.....67

Figura 38. (A) Mapa de uso do solo do manancial do Monjolinho e pontos de amostragens da qualidade da água, (B) área das classes de uso do solo, (C) valores de IQA 71

Figura 39. Modelo de exploração e uso de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. 74

Figura 40. Diagrama de dispersão entre a população e a superfície impermeabilizada para os anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 da cidade de São Carlos, SP. 77

Figura 41. Representação gráfica de cenários preditivos para a cidade de São Carlos, SP. 78

Figura 42. Predomínio de pastagens na área de estudo e nos mananciais. 81

Figura 43. Geração de chorume no antigo lixão. Fonte: Frésca (2007).....83

Figura 44. Vista do aterro sanitário e sua posição em relação à cidade. Fonte: Frésca (2007).....83

Figura 45. Síntese das áreas adequadas e inadequadas para expansão urbana e das áreas que devem ser protegidas no município de São Carlos (adaptado de SÃO CARLOS, 2005) 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Categorias de bacias hidrográficas derivadas do Modelo de Superfície Impermeável. Fonte: Adaptado de (ZIELINSKI, 2010).....18

Tabela 2. Características das fotografias aéreas e imagens dos satélites. 36

Tabela 3. Cartas utilizadas.....36

Tabela 4. Série temporal de 30 anos de população urbana e rural. Fonte: SEADE (2010). 41

Tabela 5. Recursos hídricos utilizados para abastecimento da cidade de São Carlos/SP. Fonte: SAAE (2010a), *SAAE (1989, *apud* Dupas, 2001). 42

Tabela 6. Dados referentes à origem e demanda por recursos hídricos da cidade de São Carlos, SP. Fonte: SAAE (2010a), *SAAE (1989, *apud* Dupas, 2001).....74

Tabela 7. Estatísticas de crescimento populacional, de área impermeabilizada e densidade de Hab/Km² da cidade de São Carlos, SP.....78

Tabela 8. Síntese da expansão urbana (2006) com base no Zoneamento Municipal.....86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
APREM	Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município
AVNIR-2	*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH	Comitês de Bacias Hidrográficas
CEAT	Centro Empresarial de Alta Tecnologia
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Metereorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CWP	*Center for Watershed Protection*
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBC	Instituto Brasileiro do Café
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIB	Índice de Integridade Biótica
IIE	Instituto Internacional de Ecologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade da Água

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Ma	Milhões de anos
MEMARH	Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos
MSI	Modelo de Superfície Impermeável
NEPA	Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática
PDPA	Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental
PNE	Potencial Natural de Erosão
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PSA	Pagamento por serviços ambientais
SAEE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEREC	Serviço de Engenharia Consultiva LTDA
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TM	*Thematic Mapper*
UGRH	Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UTM	Universal Transversa de Mercator

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

RESUMO

COSTA, CARLOS WILMER. **"Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP**". 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos hídricos), NEPA, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG.

A concentração de pessoas em áreas urbanas densamente povoadas sinaliza para a utilização de sistemas de monitoramento como o sensoriamento remoto. Tais sistemas, juntamente com ferramentas de análise espacial, como Sistemas de Informação Geográfica – (SIG), permitem a mensuração e monitoramento da superfície impermeabilizada num nível detalhado, auxiliando o planejamento territorial. No presente estudo, a superfície impermeabilizada da cidade de São Carlos, SP, foi avaliada por um período de 44 anos através de fotografias aéreas e imagens dos satélites LANDSAT 5 e Alos, que apontaram um avanço da mancha urbana sobre os mananciais do rio Monjolinho e ribeirão do Feijão. Aliado a rápida taxa de urbanização, o uso intensivo do solo por atividades relacionadas ao agronegócio e a disposição inadequada de resíduos sólidos determinam a má qualidade da água desses mananciais. Análises de regressão linear foram utilizadas para a elaboração de modelos matemáticos que permitiram a predição do crescimento populacional e da superfície impermeabilizada futura. As estimativas obtidas para o ano de 2050 comparada com a situação encontrada em 2006, são de uma população de aproximadamente 382.385 habitantes (+76,8%), e uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km² (+93,6%). Este resultado sugere que a densidade populacional continuará diminuindo indicando dispersão do tecido urbano e consumo de área além do necessário por conta do desenvolvimento de novas áreas, aumentando a pressão sobre os mananciais de água superficial e subterrânea. Finalmente, variáveis ambientais como topografia, geologia, pedologia, hidrografia, infraestrutura, uso e cobertura do solo, crescimento populacional e urbano, qualidade ambiental dos mananciais e o uso de recursos hídricos foram analisadas de maneira integrada, a fim de praticar o planejamento territorial do município, diagnosticando a situação atual (2006) e alternativas futuras, via Plano Diretor.

Palavras-chave: Expansão urbana, crescimento populacional, superfície impermeabilizada, cenários, Aquífero Guarani.

ABSTRACT

COSTA, CARLOS WILMER. **"Urban sprawl and it's consequences on water supplies of Monjolinho and Feijão streams of city São Carlos, São Paulo.** 2010. Dissertation (MSc in Environment and Water Resources), NEPA, Federal University of Itajubá, M G.

The concentration of people in densely populated urban areas indicates the use of monitoring systems such as remote sensing. Such systems, together with spatial analysis tools like Geographic Information Systems - (GIS), enable the measurement and monitoring of impervious surface on a detailed level, assisting the land planning. In this study, the impervious surface of São Carlos, Brazil was evaluated over a period of 44 years through aerial photographs and satellite images LANDSAT 5 and Alos, showing an advance of urban sprawl on the supplies watersheds of Monjolinho and Feijão streams. The rapid rate of urbanization, the intensive use of land for agribusiness-related activities and the inadequate disposal of solid waste determine the low water quality of these watersheds. Linear regression analysis was used to develop mathematical models that allowed the prediction of population growth and future impervious surface. The obtained estimations for the year 2050 compared with the 2006 situation, indicates a population of approximately 382,385 inhabitants (+76.8%), and an impervious surface of 143.1 km ² (+93.6%), which suggests that population density will continue to decrease due to the development of new areas, indicating urban dispersion and consumption of new areas more than necessary, increasing pressure on stocks of surface and groundwater. Finally, environmental variables such as topography, geology, pedology, hydrography, infrastructure, land use, urban sprawl and population growth, environmental quality of water sources and use of water resources were analyzed in an integrated way in order to practice the territorial planning of the municipality by diagnosing the current situation (2006) and future alternatives, referenced on the city's Master Plan.

Keywords: Urban sprawl, population growth, impervious surface, scenery, Guarani Aquifer, public water supply.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e justificativa

Segundo Tucci (2008) mais da metade da população do planeta vive em cidades, já no Brasil mais de 83% da população vive em áreas urbanas. Em alguns municípios de estados mais desenvolvidos, como no caso do estudo ora apresentado, este percentual ultrapassa os 96%.

As cidades brasileiras de médio e grande porte apresentam graves problemas ambientais no meio urbano e periurbano. A maioria das cidades de médio porte apresentam uma tendência de urbanização dispersa e fragmentada, resultando em baixa densidade demográfica, com rápido e extensivo consumo do território, infraestrutura e recursos naturais (LACERDA, 2005; LIMONAD, 2008). Tal forma de urbanização tem sido responsável por ocupação em áreas de recarga direta e em áreas vetadas como mananciais. Muitas vezes, esse modelo urbanístico predatório é motivado por interesses privados sobre os sociais, não respeitando as diretrizes de crescimento do município, normas de loteamento e Áreas de Preservação Permanente (ROLNIK, 2009).

Aliado a rápida taxa de urbanização, a disposição inadequada de resíduos sólidos e o uso intensivo do solo por atividades relacionadas ao agronegócio nas bacias hidrográficas que são utilizadas como mananciais, provocam impactos negativos sobre a ecologia regional e contaminação das águas superficiais e subterrâneas (TUNDISI *et al.,* 2007; ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009).

Esses mananciais são áreas sensíveis e pela proximidade da cidade deveriam ser conservados ou preservados, a fim de servirem como reservas de água futura. Porém, a ausência ou o não cumprimento da regulação legal de uso e ocupação do solo por parte do executivo municipal, estadual e federal e o uso indiscriminado dos recursos hídricos, poderão condenar a qualidade e a quantidade desse recurso para os cidadãos.

De fato, no geral, verifica-se que até o momento as questões relacionadas às disparidades entre o crescimento urbano, conservação dos mananciais e crescimento da demanda hídrica, são contornadas construindo mais poços artesianos para aumentar a oferta de água. Tal uso se torna eficiente e atrativo a curto prazo, mas tende a ser ineficaz no decorrer dos anos, pois o aquífero tende a diminuir as vazões explotáveis (LOPES & FREITAS, 2007; KOBIYAMA, MOTA & CORSEUIL, 2008).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Neste sentido, diagnosticar e caracterizar previamente as áreas de mananciais que vêm sofrendo as consequências do uso do solo para fins urbanos, assim como a proposição de alternativas de minimização dos impactos gerados por tal uso é de grande valia para o planejamento territorial do município, antes que mudanças irreversíveis possam ocorrer.

Este trabalho justifica-se por identificar no município de São Carlos constantes pressões ao longo dos anos nas áreas de mananciais de atividades relacionadas aos usos do solo para fins de expansão urbana e ligados ao agronegócio, comprometendo a qualidade da água superficial e subterrânea. Ainda, segundo São Paulo (2009), essa região já utiliza mais de 60% da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, sendo identificada grande tendência de aumento devido à concentração industrial e populacional prevista para as próximas décadas, o que fará com que os recursos água e solo sejam usados intensamente.

Esta pesquisa está vinculada ao projeto de Políticas Públicas intitulado "Uso atual e potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e regional", processo n. 98/10924-3 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). No ANEXO I, além de outros trabalhos de apoio ao tema em outras regiões, é mostrada a estrutura dos trabalhos desenvolvidos e em desenvolvimento relacionados ao tema planejamento de bacias hidrográficas dentro do manancial do ribeirão do Feijão (São Carlos, SP).

1.2. Estrutura

O primeiro capítulo, traz uma introdução contextualizada do tema da pesquisa acompanhado de uma justificativa. Em seguida, no segundo capítulo são apresentados os objetivos que serviram de guias e complementação da análise do estudo. No terceiro capítulo encontram-se o embasamento teórico sobre os assuntos abordados. Já no quarto capítulo, são apresentados os materiais e programas utilizados, seguidos de uma descrição das características fisiográficas da área de estudo e metodologia utilizada na obtenção dos resultados. No quinto capítulo, os resultados obtidos são discutidos e, no sexto capítulo são apresentadas as considerações finais. Finalmente, no Anexo I são apresentados os trabalhos desenvolvidos no manancial do ribeirão do Feijão e no Anexo II é apresentado um Projeto de Lei da Prefeitura Municipal de São Carlos que dispõe sobre a criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município - APREM.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

CAPÍTULO II - OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Fornecer subsídios ao executivo municipal da cidade de São Carlos, SP, com informações técnicas que auxiliem o planejamento do crescimento da mancha urbana e suas consequências ambientais.

2.2. Objetivos específicos

- Análise do crescimento populacional de 1980 a 2009;
- Análise do crescimento e dinâmica da mancha urbana de 1962 a 2006;
- Avaliação da influência do uso e cobertura do solo sobre os recursos hídricos nos mananciais do ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho;
- Avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos para abastecimento público no período de 1989 a 2009;
- Análise integrada da situação atual (2006), criação de cenários futuros de crescimento populacional e de expansão urbana e alternativas contemplando o Plano Diretor Municipal.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado embasamento teórico sobre os assuntos abordados no estudo.

3.1. Crescimento urbano, uso dos recursos hídricos e aumento da demanda hídrica

O crescimento populacional e urbano, as alterações socioeconômicas, as mudanças tecnológicas e as alterações climáticas são as principais e prováveis forças motrizes que moldarão o futuro com interferência nos recursos hídricos (WEATHERHEAD & HOWDEN, 2009). A questão levantada por Martine (2007) é: "a urbanização constitui uma bênção ou uma ameaça à sustentabilidade? Será que a concentração urbana é mesmo um padrão negativo?" Para o autor, o fator escala da urbanização representa uma forma mais sustentável do uso da terra a médio e longo prazos, desde que promovida com políticas cuidadosas de ocupação espacial.

Na Europa e na América do Norte, no entanto, são verificadas novas tendências de urbanização, mais fragmentada e com maior consumo de terras e recursos naturais. A ocupação se dá em áreas próximas das grandes cidades, substituindo o que era floresta ou destinada à agricultura. Essa tendência baseia-se na busca por terrenos com baixos preços, na mobilidade proporcionada pelo automóvel e no desejo de viver em condomínios com áreas verdes envolventes (JAEGER *et al.,* 2010).

Na América do Sul o crescimento urbano se dá nas zonas periféricas das cidades onde formam-se assentamentos precários, sendo autoproduzidos pelos próprios moradores. No Brasil, dos 5.564 municípios, são raros os que não têm uma parte significativa de sua população assentada precariamente; os rios, vales inundáveis e encostas são tratados como obstáculos a serem superados, são aterrados, terraplanados e as águas canalizadas, num desenho que procura minimizar as perdas territoriais para o mercado de solos. Esse modelo é marcado por dois elementos constitutivos de nossa cultura política: a indistinção entre o público e o privado, e entre o real e o legal. Essa forma de urbanização é resultado de um mercado que visa o lucro imediato, expandindo os limites da cidade de forma fragmentada, a partir de iniciativas de proprietários de terras e loteadores (ROLNIK, 2009). Como agravante, o planejamento urbano é realizado para a cidade formal, e para a cidade informal são analisadas somente tendências de ocupação (TUCCI, 2008).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

O crescimento desordenado das cidades brasileiras, em conjunto com a evolução da infraestrutura, produz impactos negativos no meio ambiente urbano, em áreas de expansão e consequentemente nos recursos hídricos. Pode-se destacar (TUCCI, HESPANHOL & NETTO, 2001):

I. A contaminação dos mananciais pelo esgoto doméstico, industrial e pluvial inviabiliza a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para o abastecimento;
II. A distribuição de água tem sérios problemas de perdas e o tratamento é encarecido pelo excesso de poluentes provenientes de diversas fontes;
III. A falta de coleta e tratamento do esgoto é comum nas cidades. Quando se tem rede de esgoto, não existe tratamento, o que agrava a poluição dos mananciais. Quando se tem tratamento, a rede não coleta o total projetado devido a ligações clandestinas com a rede pluvial;
IV. A drenagem urbana é desenvolvida de forma completamente errada, produzindo prejuízos para toda sociedade, sendo que as soluções adotadas, além de apresentarem custos altos, ainda agravam mais as enchentes e poluição difusa;
V. Na maioria das cidades brasileiras, é calamitosa a situação da gestão dos resíduos sólidos, com a coleta e disposição inadequada do lixo e com grandes dificuldades de reciclagem.

Esse processo ocorre, entre outros fatores, porque os municípios não possuem capacidade institucional e econômica para administrar o problema, enquanto os estados e a União estão distantes para buscar uma solução gerencial adequada para apoiar os municípios. Cada um dos problemas citados é tratado de forma isolada, sem um planejamento preventivo ou mesmo curativo dos processos. Como consequência, observam-se prejuízos econômicos, forte degradação da qualidade de vida, com retorno de doenças de veiculação hídrica, mortes, perdas de moradias e bens, interrupção de atividade comercial e industrial em algumas áreas, entre outras consequências (TUNDISI *et al.*, 2007).

Os impactos quantitativos e qualitativos nos recursos hídricos são crescentes e produzem grandes alterações nos estoques de água superficial e subterrânea, principalmente quando a urbanização avança sobre os mananciais. Regiões urbanas produzem grande volume de águas residuárias de origem doméstica e esgotos não tratados, o que produz um vasto

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

processo de eutrofização de rios, represas e lagos, aumentando também os custos de tratamento de água para abastecimento (TUNDISI, 2003). Tais custos atingem valores altos, especialmente, se os mananciais estiverem desprotegidos de vegetação ripária e cobertura natural nas bacias hidrográficas e se as águas estiverem contaminadas.

Tundisi (2010) exemplifica que na região do Baixo Cotia, em São Paulo, o custo para tratar 1.000 m³ de água é de cerca de R$ 300,00, em comparação, o tratamento da mesma quantidade em uma cidade que possui rios com proteção de matas ciliares em seus mananciais é de R$ 2,00. O autor enfatiza que estes impactos poderão ser ainda mais graves se aprovado o novo Código Florestal, que reduz as áreas de APPs de rios com menos de cinco metros, de 30 para 15 metros. Reis (2004) destaca que o custo para se tratar a mesma quantidade de água no Sistema Cantareira é de R$ 7,20, enquanto que o custo correspondente no rio Piracicaba é de R$ 92,61, ou seja, 12,7 vezes superior. Destacando-se o aspecto da cobertura florestal como primeiro indicativo de saúde da bacia, verifica-se que a bacia do Sistema Cantareira possui 27,16% de sua área com cobertura florestal e a bacia do rio Piracicaba apenas 4,3%.

Devido à forte demanda de água e ao excesso de cargas de poluição que contaminam os mananciais, Francisco & Carvalho (2008) alertam que as principais cidades brasileiras já apresentam condições críticas de disponibilidade hídrica, por exemplo, a região metropolitana de São Paulo importa grande parte da água da bacia do rio Piracicaba, estando praticamente sem opções de novos mananciais, assim como a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que já é abastecida pela transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu. O litoral do Rio de Janeiro, a baixada Santista e a bacia do rio Tietê, apresentam mais de 70% da sua disponibilidade comprometida.

A situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, passando pelas UGRH Piracicaba/Jundiaí/Capivari, Mogi-Guaçu, Pardo, Baixo Pardo/Grande e Turvo/Grande é de comprometimento da disponibilidade e com tendência a tornar-se insustentável em um futuro não muito distante (HOGAN *et al.* 2000, segundo DUPAS, 2001). Com relação às UGRH Mogi-Guaçu e Tietê-Jacaré, onde se localiza a área de estudo, o balanço entre demanda e disponibilidade hídrica superficial e subterrânea é considerado crítico, com utilização de mais de 60% da capacidade, os principais usos da água são para irrigação e uso industrial, seguidos pelo uso urbano (SÃO PAULO, 2009).

A dependência das águas subterrâneas provenientes do Aquífero Guarani é nítida no estado de São Paulo e na área de estudo. A partir dos anos 70, teve início a um surto

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

exploratório desse reservatório de maneira desordenada, parcialmente em decorrência do avanço da tecnologia de perfuração de poços, por representar uma alternativa geralmente mais barata e por falta de políticas governamentais. Há de se ressaltar que a exploração é feita até o limite, em geral a definição de critérios de outorgas é sistemática, independentemente das características regionais das ofertas, demandas hídricas e às necessidades ambientais de cada região, além disso, os cálculos das reservas explotáveis ainda são controversos. Ao persistir esta situação, problemas de sobrexploração localizada ou de contaminação, a partir das bordas da bacia, em áreas urbanizadas ou industrializadas poderão comprometer o aquífero[1] (DAEE, 2003; ANA (2007); GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006; LOPES & FREITAS, 2007; KOBIYAMA, MOTA & CORSEUIL, 2008).

Como agravante, os diferentes tipos de usos do solo nas regiões de recarga, em conjunto com a percolação de resíduos de aterros controlados, fossas sépticas, lagoas de estabilização, derrames de combustíveis e o uso de adubos químicos e agrotóxicos são fatores importantes para a deterioração das águas subterrâneas. Assim, visto que estas são importantes fontes de água para abastecimento e irrigação, sua utilização direta pode causar contaminação de plantações e hortas urbanas, levando a ocorrência de doenças (TUNDISI *et al.*, 2007; ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009).

O abastecimento público, em geral, pode ser classificado em duas categorias: aqueles baseados em sempre aumentar a oferta para suprir a demanda e aqueles, mais racionais, que tentam aumentar a oferta com base na diminuição da demanda. Assim, soluções para demanda hídrica futura vão desde medidas de economia de água em escala doméstica, incluindo abordagens descentralizadas como eletrodomésticos eficientes, reutilização informal, reservatórios domésticos de águas pluviais e de sistemas de tratamento de esgoto, até soluções em escala menor que incluem reciclagem de águas residuais e medidas legais como restrições impostas sobre as famílias, indústria e agricultores e a cobrança pelo uso da água (TUNDISI, 2003; HURLIMANN, DOLNICAR & MEYER, 2009).

Porém, segundo Féres, Thomas & Reynaud (2007), o que se discute por parte dos tomadores de decisão em recursos hídricos é o aumento da oferta de água. Lopes e Freitas (2007) alertam que quando o abastecimento público é realizado somente por instituições públicas, raramente são criadas iniciativas ao uso racional da água, levando ao desperdício.

[1] O Aquífero Guarani estende-se pelos territórios do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai com uma área de 1.200.000 Km² com um volume aproveitável de água da ordem de 40 Km³/ano, 30 vezes maior que a demanda por água de toda população existente em sua área de ocorrência.

Portanto, cenários futuros de desenvolvimento urbano e econômico, associados à demanda hídrica devem ser definidos pela União, Estados e Municípios, a fim de preservar as reservas subterrâneas, privilegiando o uso de fontes superficiais (DAEE, 2003; CONWAY & LATHROPET, 2005; WEATHERHEAD & HOWDEN, 2009).

3.2. Instrumentos e práticas de conservação dos recursos hídricos

A eutrofização é um problema crescente de saúde pública, produzindo vários processos relacionados à deterioração da água superficial e subterrânea e, consequentemente, incremento do custo do tratamento da água para consumo (TUNDISI *et al.,* 2006).

Estudos indicam que aproximadamente 50% das águas superficiais de todos os continentes encontram-se afetadas por eutrofização. Na Europa, o Sistema de Diretivas Européias para a Água baseia-se em uma aplicação combinada de regras de emissão de poluentes, captação de água e gerenciamento de bacias hidrográficas. O objetivo principal é a diminuição da poluição difusa provocada por fontes causadoras de eutrofização, como o nitrogênio e o fósforo originados das atividades agrícolas (BLASCHKE & KUX, 2005).

Problemas com poluição difusa e eutrofização também são enfrentados nos países da América do Norte (CARTER, KREUTZWISER & LOE, 2005; XIAN, CRANE & SU, 2007). Na América Latina a eutrofização é causada pelas descargas de efluentes sem tratamento prévio ou com tratamento insuficiente ou inadequado aos corpos d'água, a expansão agrícola sem o manejo apropriado do solo, o uso de agroquímicos, a agriculturização e a urbanização de bacias de drenagem, a pecuária, o aumento da aquicultura e de granjas agrícolas e suínas, a construção de reservatórios e a destruição de ecossistemas naturais. Os efeitos negativos incluem aumento das cargas de nutrientes (principalmente Nitrogênio e Fósforo), metais pesados e outros poluidores em lagos e reservatórios, alteração da biota e diversidade biológica, proliferação de macrófitas e cianobactérias, mortantade de peixes, bioacumulação de substâncias tóxicas, aumento da sedimentação nos corpos de água, proliferação de organismos patogênicos e vetores de enfermidades, diminuição da qualidade da água para usos diversos, aumentando os riscos com a saúde pública, diminuição da disponibilidade de água, aumento da pressão sobre os aquíferos e, finalmente, impacto nas mudanças climáticas globais pelo aporte de gases de efeito estufa (TUNDISI *et al.,* 2006).

No Brasil, historicamente, tem se privilegiado mais a produção agrícola do que a proteção ambiental. Observa-se uma tendência em se obter subsídios para aquisição de

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

máquinas e insumos agrícolas, desprezando-se aspectos relevantes ligados à qualidade da água (MARTINI & LANNA, 2003). Das perdas de solo no Brasil, as devidos à erosão são estimadas em 500 milhões de toneladas de terra por ano. Destas, as perdas dos fertilizantes que causam eutrofização, Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), são estimadas em oito milhões de toneladas (LANNA 2005, segundo SILVA, FOLEGATTI & SANTOS, 2009).

No que concernem as práticas de conservação dos recursos hídricos e redução da poluição difusa, Moreno-Mateos & Comin (2010) destacam que a destruição de zonas úmidas *(wetlands)* em áreas agrícolas, resulta na perda de valiosas funções ecológicas e serviços ambientais, tal como o abastecimento de água. Neste contexto, a criação e restauração de zonas úmidas com múltiplas funções podem retornar algumas das funções perdidas ou fornecer outros serviços especiais de relevância para as condições do local. Entre os objetivos estão a recuperação da qualidade da água, do solo, da biodiversidade, controle de cheias, recreação, pesca, o sequestro de carbono e a manutenção da heterogeneidade da paisagem.

O interesse principal da melhoria da qualidade da água, com a criação das zonas úmidas é a retenção de nutrientes que causam eutrofização e controle do escoamento superficial, prevenindo contra a lixiviação pela água da chuva de resíduos agrícolas. Em climas úmidos a construção das áreas úmidas deve ser menos agregadas com dimensão de 0,5 a 5 hectares, compreendendo uma área de 5% da bacia hidrográfica (MORENO-MATEOS & COMIN, 2010) (Figura 1).

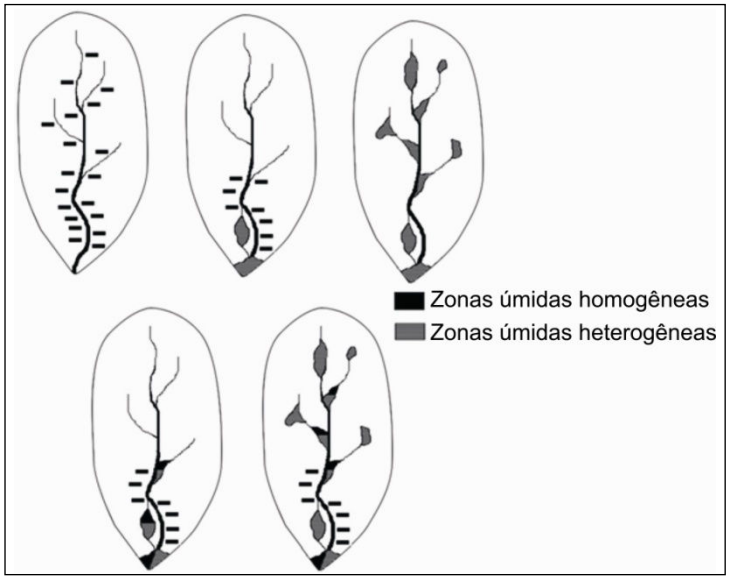


Figura 1. Esquema retratando cenários de bacias hidrográficas agrícolas com a criação de zonas úmidas (adaptado de MORENO-MATEOS & COMIN, 2010).

O Centro de Proteção de Bacias Hidrográficas – CWP, nos Estados Unidos, incentiva gestores municipais a adotarem práticas de planejamento para o controle da poluição difusa e nutrientes causadores da eutrofização provocados pela urbanização. As práticas de planejamento são compostas por poços rasos e canais, ou zonas úmidas, que tratam o escoamento de águas pluviais por meio de uma série de processos de remoção de poluentes, incluindo sedimentação, filtração e absorção biológica. Esse tratamento cria condições de crescimento para uma variedade de plantas (Figura 2 e Figura 3).

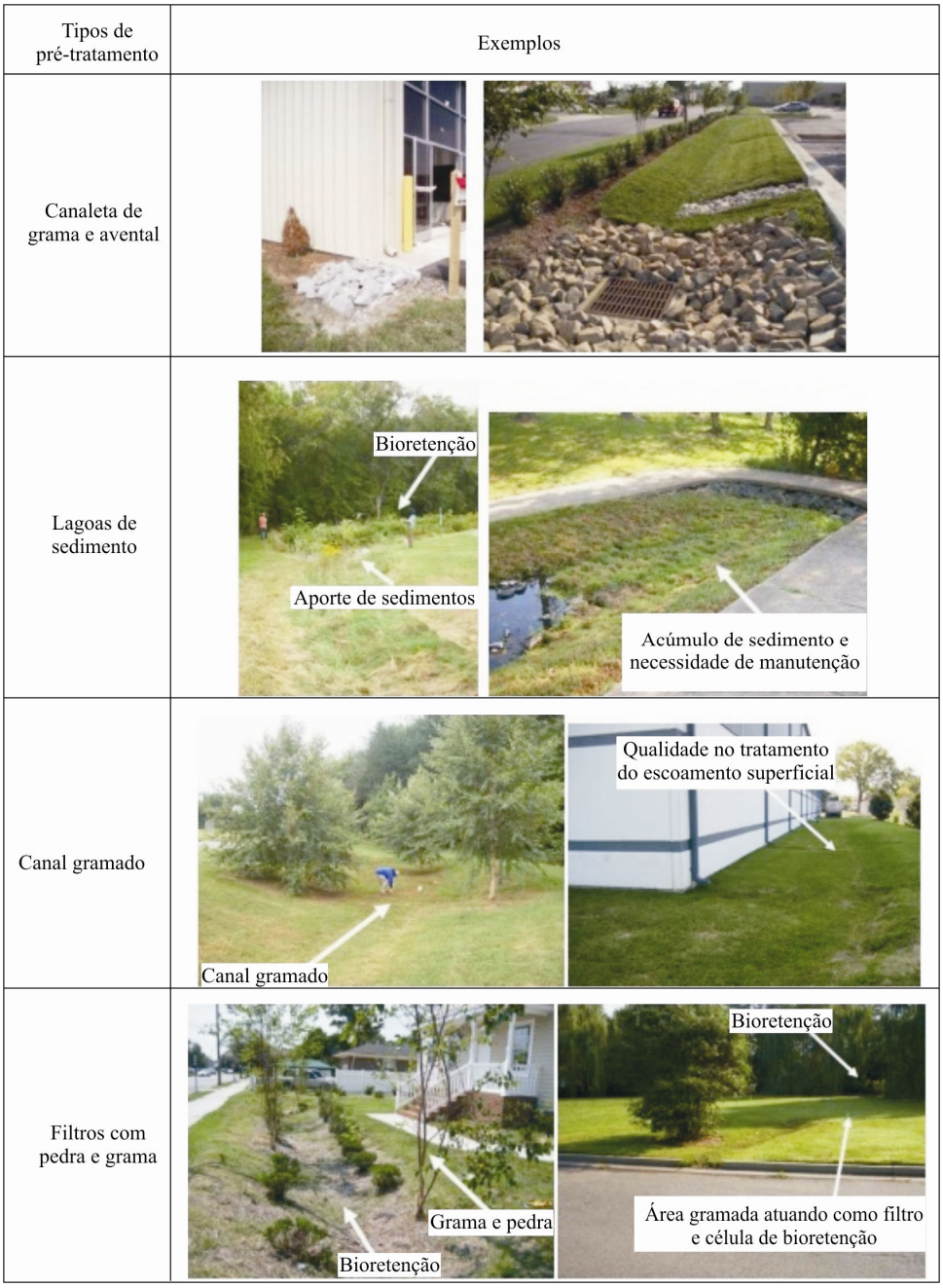


Figura 2. Práticas de regeneração de águas pluviais. (adaptado de CAPPIELLA, 2008).

Figura 3. Variedades de práticas de pré-tratamento de águas pluviais (adaptado de HIRSCHMAN, WOODWORTH & DRESCHER, 2009).

Os ecossistemas apresentam funções que podem ser qualificadas de "serviços" e benefícios à população humana e a outras espécies, por exemplo, a produção de alimentos, a reciclagem de nitrogênio e fósforo pelos ecossistemas aquáticos e o suprimento de água para abastecimento público. No entanto, estes "serviços" encontram-se ameaçados pela poluição pontual e difusa originada principalmente da urbanização e agropecuária (TUNDISI, 2003).

A experiência recente tem demonstrado que o controle da poluição difusa em áreas agrícolas é mais eficaz quando políticas de incentivo, como aquela do "provedor-recebedor", são utilizadas no lugar de instrumentos coercitivos, tais como o "poluidor-pagador" (CLAASSEN *et al.*, 2001, *apud* SILVA, FOLEGATTI & SANTOS, 2009).

Neste contexto, Martini & Lanna (2003) exemplificam que o Pagamento por Serviços Ambientais – PSA foi implantado na proteção dos rios que abastecem de água a cidade de Nova York. Na República Tcheca e na Irlanda são estabelecidas compensações financeiras aos agricultores que obtêm perdas devido às limitações de cultivo em zonas de proteção aos mananciais de água.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Na Suécia, desde 1988 são concedidos pagamentos compensatórios de 85 a 300 dólares por hectare/ano, aos agricultores de algumas regiões para promover cultivos que fixam nitrogênio diretamente da atmosfera (leguminosas em geral). Para reduzir o uso de pesticidas, os preços foram elevados em até cinco por cento, e assim, os agricultores suecos foram encorajados a testar novos produtos, técnicas de aplicação ou converter toda ou parte de suas áreas em produção orgânica. Como resultado, houve uma redução de 50% no uso de pesticidas entre 1990 e 1995.

No Reino Unido, há um programa chamado "Áreas Sensíveis ao Nitrato", que paga 88 dólares para produtores que restringem o uso de fertilizantes nitrogenados, e até 950 dólares por hectare para aqueles que optaram pela conversão das terras aráveis em florestas.

No Brasil, se considerarmos o tripé gerenciamento de recursos hídricos, gestão ambiental e planejamento do uso do solo, ações vêm sendo desenvolvidas na bacia do Alto Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo. Nesta bacia destaca-se o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA, da sub-bacia do Guarapiranga, que criou índices urbanos com vista à preservação da qualidade da água. Em Minas Gerais, no rio Verde Grande, a estratégia é baseada no cadastro de todos os usuários de recursos hídricos, no entanto, ainda faltam simulações dos resultados das políticas adotadas. Na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, já foi implementada a cobrança pelo uso da água. O rio Piranhas-Açu, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, conta com um cadastro de usuários de água que possibilitou a avaliação da disponibilidade hídrica e a previsão de cenários de demandas hídricas futuras (LOPES & FREITAS, 2007; CARNEIRO, 2008).

Silva, Folegatti & Santos (2009) citam como exemplos de PSA as experiências no Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Outras experiências são: Programa Matas Ciliares em São Paulo, Ecocrédito em Rio Claro-MG, Produção de água em Extrema-MG e no rio Guandu, que abastece nove milhões de fluminenses.

No município de São Carlos, frente ao intenso uso do solo pelas atividades relacionadas ao agronegócio, tais como a pecuária, cana-de-açúcar e laranja, que causam sérios impactos na cobertura vegetal remanescente no manancial do ribeirão do Feijão, e consequentemente, na qualidade e na quantidade das águas superficiais e subterrâneas, Dupas (2001) propõe PSA para os produtores rurais que se dispuserem a transformar suas fazendas de gado e de plantio em fazendas produtoras de água. Nesse caso, os recursos financeiros provenientes da cobrança pelo uso da água seriam aplicados nos pagamentos. A compensação

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

seria necessária em função do decréscimo de renda ocasionado pela substituição do sistema de produção "nocivo" por outro menos rentável, mas mais desejável do ponto de vista do usuário da água.

Não existia até o momento um estudo local com o objetivo de estimar o quanto a população de São Carlos estaria disposta a pagar para que houvesse um incentivo financeiro para os PSA proporcionados pela bacia, principalmente no que tange a produção de água. Logo, enquanto tais serviços não fizerem parte do mercado, isto é, não possuírem um valor econômico, ocorrerá o risco de se extinguirem em benefício de outras atividades rentáveis. A proposta de Machado (2010 *no prelo*) é de levantar, por meio da aplicação de questionários, qual o valor máximo que a população de São Carlos está disposta a pagar para ajudar a proteger a bacia. Neste trabalho o autor também determina quem são os principais usuários dos recursos hídricos, quem se beneficiaria da conservação da bacia, quem deveria pagar pela melhoria, quem deveria ser compensado, bem como o meio de pagamento (Figura 4).

O quê?	Como?	Quem é beneficiado	Quem paga?	Quem recebe?	Como pagar	Benefício ambiental
Proteção dos serviços ambientais	Através de restrições do uso do solo	População de São Carlos (diretamente)	Os usuários de recursos hídricos da bacia e fundos de preservação ambiental	Produtores e proprietários rurais que protegessem o meio ambiente	A população pagaria através de uma taxa inclusa na conta de água	Garantia presente e futura de disponibilidade hídrica em termos qualitativos e quantitativos

Intervalos de valores de quanto a população estaria disposta a pagar (em reais)									
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
0,00	0,50	1,50	2,00	5,00	10,00	20,00	30,00	Mais que 30,00	Não sei

Figura 4. Quadro síntese da pesquisa para determinação dos valores a serem pagos pelos serviços ambientais do manancial do Feijão (adaptado de MACHADO, 2010 *no prelo*).

No entanto, Martini & Lanna (2003) enumeram alguns entraves à proposta de PSA:

I. Ausência de organização dos produtores rurais e usuários da água do serviço de abastecimento público;
II. Ocorrência de custos elevados tais como os de cadastramento, fornecimento de assistência técnica e monitoramento-fiscalização;
III. Ausência de alternativas tecnológicas para substituição dos sistemas de produção vigentes, o que pode inviabilizar a própria existência da atividade agrícola local.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

3.3. Indicadores de qualidade ambiental em bacias hidrográficas

Os indicadores são fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, pois permitem aferir ou acompanhar o estado do meio, bem como avaliar os resultados de uma decisão tomada. São indicativos das mudanças e condições no ambiente e, se bem conduzidos, permitem criar cenários e representar a rede de causalidades presentes num determinado meio (SANTOS, 2004).

É verificado que o resultado da urbanização, em forma de superfície impermeabilizada é refletido no aumento do volume e da taxa de escoamento superficial dos rios (TUCCI, 2008), no aumento da temperatura da água (SCHUELER, 1994) e da poluição difusa provocada por poluentes dissolvidos na enxurrada, como metais pesados presentes em tintas, óleo de motor, graxa e resíduos de rações para animais (TANG *et al.,* 2005), de plantas não-nativas e de animais (RANDHIR & EKNESS, 2009). Observa-se que o resultado da urbanização resulta na diminuição da qualidade de águas superficiais e subterrâneas (SCHUELER, 1994; PUTRA & BAIER, 2007), do nível de base de aquíferos (ROGERS, LLAMAS & CORTINA, 2006), da evapotranspiração e da qualidade do ar (WILSON *et al.*, 2003), da oferta de água para abastecimento (LEE, 2000; LERNER & HARRIS, 2009). Também é verificada a alteração da morfologia do canal (WANG, LYONS & KANEHL, 2001), empobrecimento da comunidade biótica e perda de biodiversidade (WANG, LYONS & KANEHL, 2001, SCHOONOVER, PAN & LOCKABY, 2005; TUNDISI *et al.*, 2007), de vegetação e de sombra que reduz o material que entra na cadeia alimentar aquática (BOOTH & JACKSON, 1997; SCHUELER, 1994).

Superfícies impermeabilizadas possuem propriedades únicas em uma bacia hidrográfica, pois podem ser previstas, administradas, fixada o preço, reguladas e mitigadas. Além disso, é uma moeda comum entendida por planejadores, engenheiros, administradores, economistas e ecologistas, podendo ser medida com precisão, usando sensoriamento remoto e SIG (JAT, GARG & KHARE, 2008).

Schueler (1994) em estudos realizados nos Estados Unidos ilustra a relação entre impermeabilização e um grupo de indicadores. A Figura 5A é o resultado do monitoramento do *runoff* em 40 locais diferentes. O coeficiente de *runoff* varia de zero a um e expressa o volume de chuva que é convertido em águas pluviais. Por exemplo, significa que o volume total de água escoada em um estacionamento de um acre (Rv = 0,95) é aproximadamente 16 vezes a produzida em uma área onde as condições de permeabilidade são próximas das

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

naturais (Rv = 0,06). Na Figura 5B é evidenciado o limiar de 10% de superfície impermeabilizada que resultam em processos erosivos, instabilidade dos canais, alargamento das margens e degradação do habitat. Superfícies impermeáveis tanto absorvem quanto refletem o calor, pela Figura 5C verifica-se que rios urbanos apresentam temperatura da água de 10° a 12° mais quente do que as registradas nas respectivas nascentes, onde prevalesse áreas de campos ou florestas. Na Figura 5D são apresentadas as tendências de diversidade na comunidade de macroinvertebrados bentônicos para 23 estações de amostragem em rios da bacia *Anacostia*. Uma boa diversidade foi encontrada em quase todas as estações com menos de 10% de superfície impermeabilizada, enquanto que em estações com 12% ou mais de superfície impermeabilizada foi registrada uma diversidade pobre.

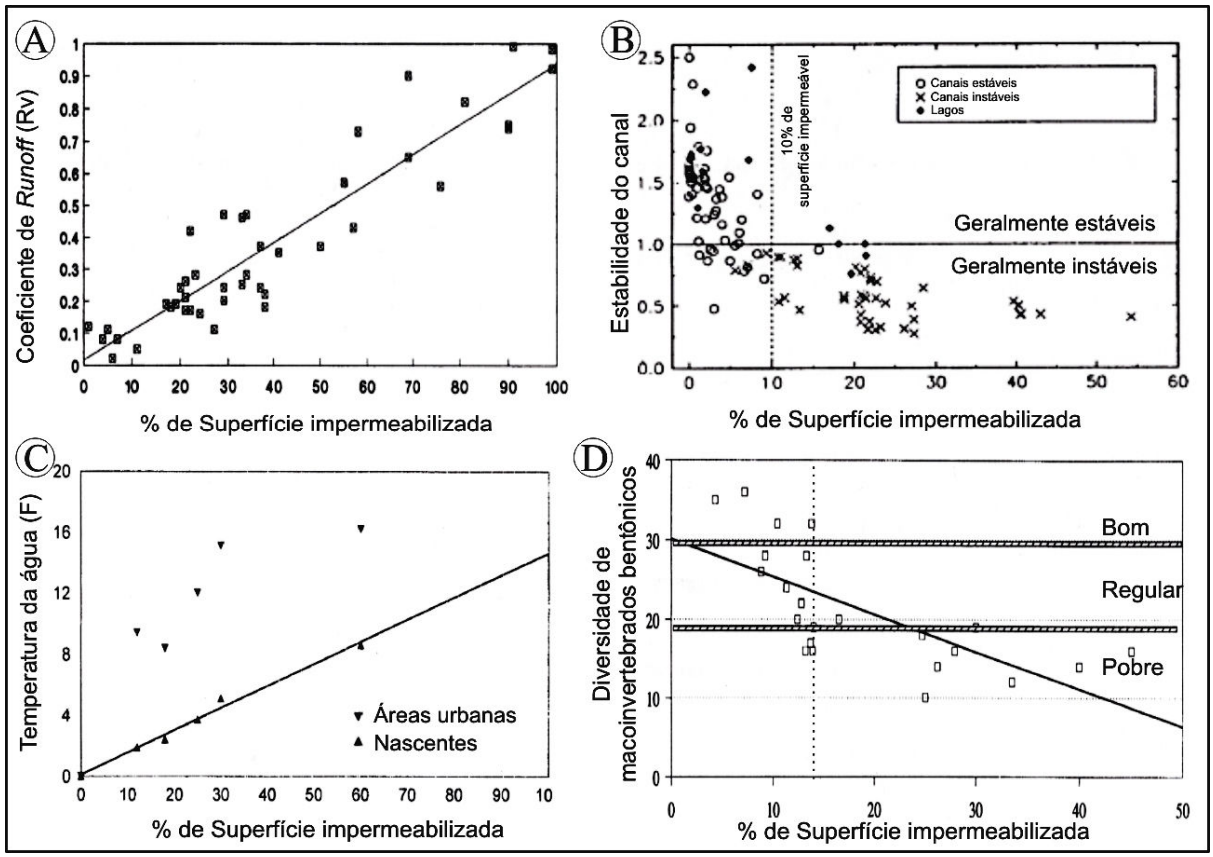


Figura 5. Relação entre superfície impermeabilizada e indicadores ambientais em bacias hidrográficas (adaptado de SCHUELER, 1994)

Segundo Callisto, Moretti & Goulart (2001), os macroinvertebrados bentônicos variam desde organismos típicos de ambientes limpos ou de boa qualidade de águas, passando por organismos tolerantes e até resistentes. Locais poluídos possuem baixa diversidade de espécies e elevada densidade de organismos, restritos a grupos tolerantes.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Em *Connecticut*, Estados Unidos, o Departamento de Proteção Ambiental realizou estudos na bacia hidrográfica de *Eagleville*, região leste do estado, utilizando a comunidade de peixes e macroinvertebrados bentônicos como indicadores dos impactos da superfície impermeabilizada em córregos. Estes estudos indicaram o limite de 11% de superfície impermeabilizada para que fosse controlada a carga diária máxima de poluentes que afetariam negativamente a qualidade da água (MCCARTHY, 2007).

Randhir & Ekness (2009) estudaram os impactos da urbanização sobre a quantidade de vertebrados por hectare na bacia hidrográfica do Rio *Westfield, Massachusetts*, Estados Unidos. O objetivo foi identificar as relações espaciais que podem ser usadas para mitigar os impactos da urbanização sobre os habitats. Observa-se que o efeito limiar da urbanização sobre o habitat dos anfíbios, répteis, aves e mamíferos é de 10% a 12% de superfície impermeabilizada na bacia hidrográfica (Figura 6).

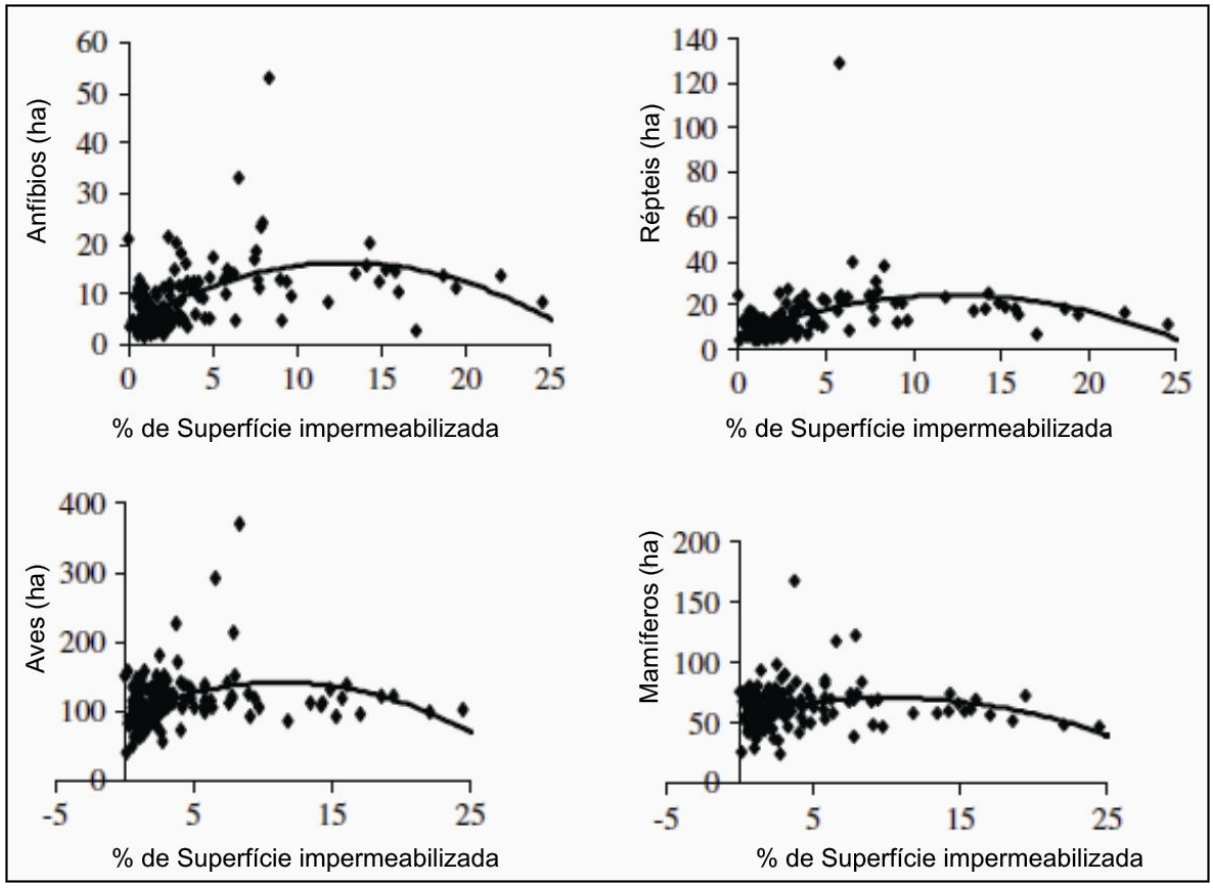


Figura 6. Relação entre superfície impermeabilizada e vertebrados (adaptado de RANDHIR & EKNESS, 2009).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Wang, Lyons & Kanehl (2001) avaliaram as influências da urbanização na comunidade de peixes em rios de 47 sub-bacias hidrográficas no sudeste de *Wisconsin* Estados Unidos. Os autores concluíram que as bacias hidrográficas com área impermeabilizada menor que 8%, apresentaram riqueza de espécies de peixes, e elevado Índice de Integridade Biótica - IIB, bacias com área impermeabilizada de 8% a 12% apresentam diminuição acentuada da comunidade de peixes e acima de 12% são consistentemente pobres. Este estudo propõe um limite de 8% a 12% de áreas urbanas em uma bacia hidrográfica para que seja mantida a qualidade do sistema. Para os autores a quantidade de superfície impermeável foi a melhor forma para predizer a saúde do rio.

Schoonover, Pan & Lockaby (2005) analisaram a relação entre a urbanização, mudanças no uso e cobertura do solo e alterações das principais características químicas, físicas e biológicas da água de bacias hidrográficas. Para isso foram selecionadas 16 bacias hidrográficas, com áreas entre 500 e 2.500 hectares, escolhidas para formar um gradiente de urbanização, onde existem, desde as bacias mais urbanizadas até as pouco ou nada urbanizadas. Os autores encontraram relações entre o uso do solo e as variáveis amostradas, ficando constatado que nas bacias com mais de cinco por cento de superfície impermeabilizada a concentração de nutrientes foi superior aos padrões legais. Os estudos também mostraram que quanto maior é a porcentagem de cobertura florestal na bacia, menor é a concentração de nutrientes na água. Outra constatação foi que as calhas fluviais das bacias em processo de urbanização estão se aprofundando (erosão de calha), enquanto nas demais bacias as calhas fluviais permanecem estáveis geomorfologicamente. Quanto aos coliformes fecais, seus níveis foram mais altos nas bacias urbanizadas ou com predominância de pastagens.

A fim de se confirmar a hipótese básica de correlação entre quantidade de superfície impermeabilizada e saúde dos rios e, consequentemente, das bacias hidrográficas que drenam, uma meta análise foi realizada em 2009 com amostragens de mais de 2.500 bacias hidrográficas, localizadas em 25 estados dos Estados Unidos, para mais de 35 indicadores diferentes de qualidade ambiental. Como os resultados confirmaram, ou reforçaram a relação existente entre a superfície impermeabilizada e a saúde dos rios, Schueler, Fraley-Mcneal & Cappiella (2009) propuseram um Modelo de Superfície Impermeável – MSI para os rios americanos, conforme é apresentado na Figura 7 e Tabela 1.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

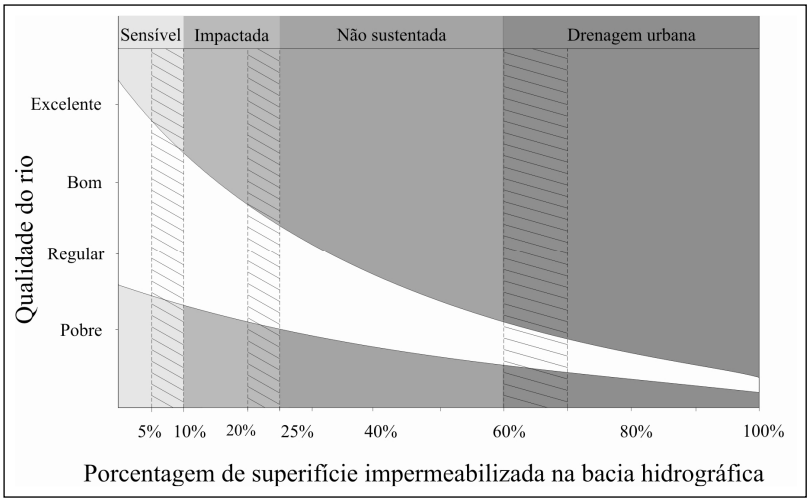


Figura 7. Relação entre superfície impermeável e saúde dos rios (adaptado de SCHUELER, FRALEY-MCNEAL & CAPPIELLA, 2009).

Tabela 1. Categorias de bacias hidrográficas derivadas do Modelo de Superfície Impermeável. Fonte: Adaptado de (ZIELINSKI, 2010).

Categoria	Descrição das bacias hidrográficas
Sensível	Até 10% de superfície impermeável. Os rios são de alta qualidade, caracterizados por canais estáveis, excelente estrutura do habitat, de excelente a boa qualidade de água, diversidade de comunidades de peixes e insetos aquáticos. Estão menos propensos a frequentes inundações e outras alterações hidrológicas que acompanham a urbanização.
Impactada	Superfície impermeável variando de 10 a 25% mostram sinais claros de degradação. A urbanização potencializa o escoamento superficial começando a alterar a geometria do canal. Tanto a erosão quanto o alargamento do canal são evidentes, tornando as margens instáveis, declinando o habitat físico sensivelmente. A qualidade da água é alterada tanto nos períodos de seca como de chuvas. A biodiversidade declina com os peixes mais sensíveis e insetos aquáticos desaparecendo do rio.
Não sustentada	Superfície impermeável superior a 25% tornam os rios canais para a transmissão de fluxos de águas pluviais. O canal é altamente instável, muitas vezes alargado gravemente devido à erosão. A estrutura necessária para sustentar a comunidade de peixes como áreas de desova, etc. são diminuídas ou eliminadas, e não pode mais fornecer habitat para os insetos aquáticos. O contato com a água não é possível devido à presença de níveis elevados de bactérias. A qualidade biológica é geralmente considerada pobre e é dominada por insetos e peixes tolerantes a poluição.
Drenagem urbana	Superior a 60% de superfície impermeabilizada são muitas vezes tão extensivamente modificados que apenas funcionam como uma canalização para águas de inundação; são classificados como drenagem urbana e consistentemente têm má qualidade da água, canais altamente instáveis, habitat e biodiversidade muito pobres. Em muitos casos são completamente eliminados por trabalhos de terraplenagem e/ou canalização.

O modelo conceitual proposto pelos autores ilustra a relação entre a cobertura impermeável de bacias hidrográficas e as respostas hidrológicas, físicas, químicas, biológicas do rio a esta perturbação. Este modelo destina-se a prever o comportamento médio de um grupo de indicadores ao longo de um intervalo de superfície impermeável, em vez de prever

um indicador individual. Observa-se que o cone representa a variabilidade na resposta dos indicadores do rio em relação aos distúrbios urbanos e também em relação à melhoria que pode ser atribuída ao tratamento da bacia hidrográfica, assim, os rios com baixa superfície impermeável não necessariamente possuem boa qualidade. Com base neste estudo, os autores chegaram ao limiar de 10% a 15% de superfície impermeabilizada dentro de uma bacia hidrográfica para que seja mantida a saúde dos corpos hídricos que a drenam.

No modelo conceitual adotado pelo Departamento de Proteção Ambiental de *Connecticut*, Estados Unidos, (Figura 8), a quantidade de superfície impermeável é utilizada para embasar estratégias de planejamento diferenciadas.

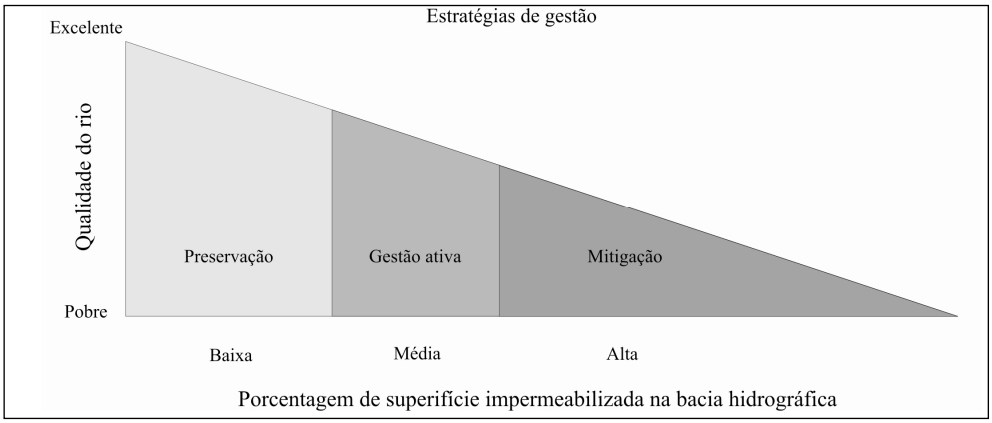


Figura 8. Utilização da porcentagem de superfície impermeável em bacias hidrográficas para identificar potencial de gestão (adaptado de BELLUCCI, BEAUCHENE & BECKER, 2009).

Assim, se uma comunidade quer proteger um importante recurso de água, o modelo sugere que há um limite máximo de 10% da área para o crescimento urbano, que não só é bastante baixo, mas geralmente está bem abaixo do atual zoneamento para muitos bairros suburbanos ou até mesmo para as bacias hidrográficas rurais (CWP, 2003; SCHUELER, FRALEY-MCNEAL & CAPPIELLA, 2009).

Conway & Lathropet (2005) exemplificam a utilização do Modelo de Superfície Impermeável em um estudo de caso na *Barnegat Bay Estuary*, região costeira de *New Jersey*, Estados Unidos. Os autores estimaram a cobertura impermeabilizada total da bacia hidrográfica em 8%, porém, em uma escala mais refinada, zonas problemáticas com superfície impermeável acima de 10% ficaram evidentes, apresentando níveis de poluição superiores.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Deve-se ressaltar também que a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica geralmente é influenciada por outras variáveis, tais como, cobertura florestal, densidade de estradas, continuidade de mata ciliar e as práticas de cultivo.

Santos (2004) enfatiza que, pelo seu inerente potencial como indicador, a vegetação é um tema muito valorizado entre os planejadores, sendo um elemento do meio natural muito sensível às condições e tendências da paisagem, reagindo rapidamente às variações. Por isso, seu estudo permite conhecer as influências antrópicas, podendo-se inferir a qualidade do meio.

Como exemplo, Soares-Filho *et al.* (2006), em estudos na bacia Amazônica, mencionam que são necessários mais de 70% de cobertura florestal para sustentar o clima e a manutenção do dependente regime de chuvas daquele bioma. Para Booth (1991) pelo menos 65% de cobertura florestal deveriam ser mantidas dentro de uma bacia hidrográfica para que se tenha conservada a sua saúde. Complementando, em relação à recarga de água subterrânea, Scanlon *et al.* (2007) comentam que a diferença de infiltração é significativa entre áreas florestadas e outras culturas, sendo duas ordens de grandeza superior em cultivo de florestas nativas.

Schoonover, Pan & Lockaby (2005) sugerem que a qualidade dos rios aumenta quando há cobertura ripária em pelo menos 50% a 75% do comprimento dos canais ou quando cobre extensas áreas úmidas. Soares-Filho *et al.* (2006) enfatizam que a proteção das bacias hidrográficas depende da manutenção da zona de vegetação ripária exigida por lei em propriedades privadas no Brasil. Silva, Folegatti & Santos (2009) alertam que 120 mil quilômetros de cursos d'água do Estado de São Paulo não dispõem de vegetação ciliar, decorrendo em um crescente processo de erosão e comprometimento da qualidade de água.

Peláez-Rodrígues (2001) utilizou a comunidade macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade da água nas bacias hidrográficas do ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho em São Carlos, SP, as quais são utilizadas como mananciais. Segundo o autor, as áreas mais degradadas são as que sofrem impactos da urbanização, ainda, este indicador foi o que melhor caracterizou a qualidade da água dos rios.

Com vistas a gerar indicadores que predissessem a saúde dos rios, Tundidi *et al.* (2007) avaliaram características ambientais dos rios da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos. Os autores analisaram variáveis físicas e químicas, refletidas no Índice de

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Qualidade da Água – IQA, analisaram também a vegetação ripária, deposição sedimentar, presença de abrigos para peixes (troncos, rochas e vegetação aquática) e a estabilidade das margens, bem como a comunidade de peixes analisando o acúmulo de espécies, dominância, reprodução e presença de parasitas. A conclusão do trabalho indica que o manancial encontra-se degradado, e nos piores trechos verifica-se elevada interferência antrópica atribuída ao uso intensivo do solo pela atividade agrícola.

Zuquette, Palma & Pejon (2006) estudaram a relação entre o uso do solo, fontes de poluentes e as características da infiltração de água na bacia hidrográfica do córrego do Vaçununga que possui características semelhantes ao manancial do ribeirão do Feijão. Esta bacia é constituída predominantemente de arenitos eólicos da Formação Botucatu e, portanto, da zona de recarga do Aquífero Guaraní. Os autores mostram que, ao invés de alta homogeneidade em termos de textura dos materiais inconsolidados, a infiltração e a taxa de escoamento superficial dependem do tipo de uso do solo associados às práticas de gestão. As curvas de infiltração para áreas com *Eucalyptus* e pastagens apresentaram comportamentos semelhantes, justificado por serem culturas de ciclo longo; enquanto que para o cultivo de cana-de-açúcar a taxa de infiltração apresentou valores diferentes, dependendo da fase do ciclo da cultura, ou seja, na fase inicial (12 meses) a taxa de infiltração é elevada e no período final (até 60 meses) a infiltração diminui devido à influência das condições de compactação e à utilização de máquinas pesadas para aplicação de fertilizantes e para colheita. No entanto, apesar de sua importância, esses estudos são raros em áreas de mananciais, culminando em superexploração de aquíferos e poluição das águas subterrâneas (Figura 9).

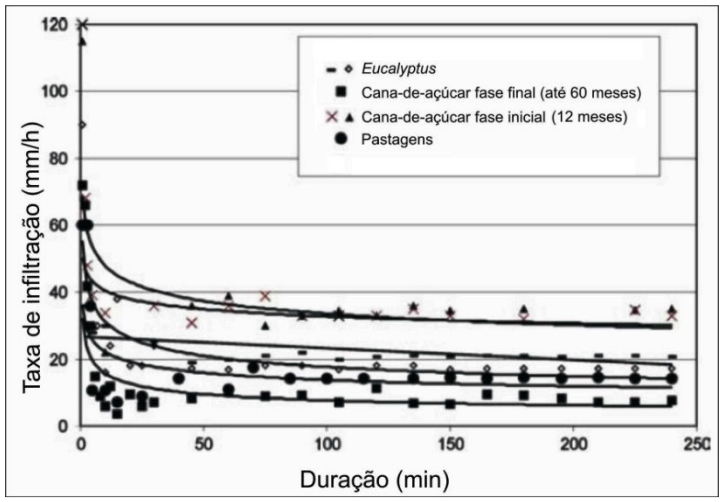


Figura 9. Curvas de infiltração para diferentes usos do solo na Formação Botucatu (adaptado de ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2006).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Diante do exposto, observa-se que o uso do solo fornece duas respostas básicas: o uso adequado, com práticas voltadas à conservação e proteção do recurso; ou inadequação do uso, com divergências entre o uso atual e o recomendável, podendo indicar degradação (SANTOS, 2004).

3.4. Construção de cenários para planejamento em Bacias Hidrográficas

A gestão ambiental e, especialmente, a gestão dos recursos hídricos no século 20 foram dirigidas essencialmente para uma ação setorial (pesca, hidroeletricidade, navegação) em nível local (rio, lago, represa, água subterrânea) e de resposta a crises. No século 21 esta gestão deverá sofrer uma transição para uma gestão integrada, no âmbito de ecossistema (bacia hidrográfica) e preditiva (capacidade de antecipação de problemas, desastres e impactos). Isto implica também em avanços tecnológicos essenciais: monitoramento avançado em tempo real, treinamento de gerentes de recursos hídricos com visão integrada e integradora, capacidade de análise ecológica, modelagem matemática e construção de cenários adequados com avaliação de tendências, impactos e análises de risco (TUNDISI, 2003).

Franco (2001) sugere que a elaboração de cenários ambientais seria uma possibilidade de se testarem alternativas, cruzando-as no espaço, tempo e meio para a verificação de resultados. Segundo a autora, essa metodologia significa dar um salto qualitativo em relação aos métodos clássicos de estudos ambientais e planejamento territorial.

Santos (2004) afirma que a metodologia para a construção de cenários baseia-se em modelagem matemática, e em se tratando de cenários ambientais, normalmente, a metodologia compreende a combinação entre uma série histórica de imagens de satélites e a interpretação das correlações entre fatores do meio físico, biótico e socioeconômico de forma a entender as pressões humanas, o estado do meio e as respostas[2].

Nijs, Niet & Crommentuijn (2004) enfatizam que a formulação de cenários futuros podem simular as taxas de crescimento populacional e urbano aliado as políticas de uso do solo (atuais, restritivas e altamente restritivas), traduzindo em alternativas de áreas para fins comerciais, institucionais, industriais, habitacionais, infraestrutura e conservação dos recursos

[2] Soares *et al.* (2007) ressaltam que o geoprocessamento permite a identificação de ocupação antrópica em áreas de preservação ambiental ou ocupação restrita previsto nos Planos Diretores Municipais.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

naturais. Cheng & Masser (2003), destacam que as técnicas tradicionais de análise estatística como regressão linear também são amplamente utilizadas.

López *et al.* (2001) ressaltam que a regressão linear também pode ser útil para a análise da expansão urbana, como por exemplo, relacionar o número de habitantes com a superfície impermeabilizada correspondente. Essa análise pode e deve ser usada para projetar tendências de crescimento urbano. O objetivo deste artigo foi o de estudar o crescimento urbano e mudanças do uso do solo na cidade de *Morelia*, México, relacionando os anos 1940, 1955, 1960, 1970, 1980 e 1990 com o número de habitantes para cada ano. Dessa análise, foi gerado um modelo matemático, onde foi possível prever a população futura.

Na etapa seguinte, os autores supracitados relacionaram o número de habitantes com a área coberta pela superfície impermeabilizada extraídas de fotografias aéreas dos anos de 1960, 1970 e 1990. Dessa análise foi gerado um modelo matemático que foi usado para predição da superfície impermeabilizada futura. O próximo passo foi alimentar o modelo matemático de predição da superfície impermeabilizada, com os valores preditos anteriormente para população e, como resultado, foi possível prever a superfície impermeabilizada futura. Para a validação da pesquisa, os resultados preditos para a superfície impermeabilizada foram comparados com a área medida com uma imagem de satélite do ano de 1997, a diferença foi inferior a 2%. A previsão, portanto, foi considerada satisfatória.

Concordando conceitualmente com López *et al.* (2001), Jat, Garg & Khare (2008) utilizaram análise de regressão linear para estimar o crescimento da superfície impermeabilizada da cidade de *Ajmer*, Índia. Nesse estudo os autores geraram cenários futuros de expansão urbana relacionando a superfície impermeabilizada mensurada de imagens de satélites dos anos de 1977, 1989, 2000 e 2002, com o número de habitantes para os mesmos anos. Como resultado, as predições para o ano de 2051 são de um incremento de 50,1% na população e 129,3% na superfície impermeabilizada, sinalizando maior consumo de terras e de recursos naturais, refletido na queda da densidade demográfica.

Com base na conexão direta entre crescimento populacional e crescimento da superfície impermeabilizada, Conway & Lathropet (2005), enfatizam que em muitos locais nos Estados Unidos, cenários demográficos e de uso do solo estão sendo criados, simulando tendências e indicando o que provavelmente vai acontecer nas próximas décadas, culminando assim, em alternativas menos impactantes. Os autores utilizaram número de habitantes e a superfície impermeabilizada como maneiras de avaliar possibilidades de ocupação na bacia

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

hidrográfica da Baía de *Barnegat*, *New Jersey*. Neste trabalho, os autores também usaram previsões de superfície impermeável como indicador da poluição difusa, provocada pela urbanização. Ao compreender as possíveis alterações desses indicadores, identificaram as melhores ações para proteger os recursos hídricos da referida bacia hidrográfica.

Na Europa, especificamente nos países baixos, Nijs, Niet & Crommentuijn (2004) versam que a Agência Nacional de Avaliação Ambiental é obrigada a fornecer, a cada quatro anos, tendências futuras de mudanças no uso do solo. Os autores elaboraram projeções e cenários para o ano de 2030, onde o desenvolvimento econômico e demográfico, as políticas de zoneamento e o crescimento urbano são integrados com base nas tendências históricas. Estes estudos são importantes para avaliar efeitos potenciais na natureza e na paisagem, de acordo com as tendências da sociedade. Os resultados sugerem que cerca de 1.500 km² de área serão necessários para o desenvolvimento residencial e industrial. Ainda, para aumentar as áreas com cobertura natural na Holanda, cerca de 2.500 km² de terras agrícolas teriam que ser transformadas em novas florestas e reservas naturais. Para isso, o governo diminuiria os subsídios agrícolas, reduzindo a área cultivada, em contrapartida, haveria uma redução nas terras subutilizadas. As glebas de terras seriam compradas por organizações de conservação da natureza para o desenvolvimento de reservas.

A utilização do modelo de regressão linear, que será utilizada nessa pesquisa, tem por objetivo a predição de valores não observados. Uma vez que se espera que uma parte da variação de *Y* (denominada variável resposta) é explicada pela variável *X* (denominada variável explanatória) pode-se, então, utilizar o modelo para obter valores de *Y* correspondentes a valores de *X* que não estavam entre os dados. Em geral, são usados valores de *X* que estão dentro do intervalo de variação estudado, no entanto, Demétrio & Zocchi (2008) atentam que a extrapolação do resultado de *Y* para valores fora do intervalo de *X* deve ser usada com cuidado, pois o modelo adotado pode não ser correto nessas situações.

O modelo de regressão linear é definido por:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + e_i,$$

em que *i=1, 2, ..., n*, *Y* é a variável resposta, *X* é a variável explanatória, b_0 e b_1 são parâmetros a serem estimados e e_i são erros normalmente distribuídos com média zero e variância constante.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Os valores de b_0 (coeficiente linear) e b_1 (coeficiente angular) podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados através das Equações (1) e (2):

Coeficiente angular:

$$\hat{b}_1 = \frac{n\left(\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i\right) - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2} \quad (1)$$

Coeficiente linear:

$$\hat{b}_0 = \overline{Y} - \hat{b}_1 \overline{X}, \quad (2)$$

em que $\overline{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}$ e $\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$ são as médias amostrais das variáveis Y e X respectivamente (Triola, 2005).

Ao utilizar um modelo de regressão linear pressupõe-se que a relação entre Y e X é linear e que existe normalidade nos erros. Para verificar a segunda pressuposição, após a estimação dos parâmetros, utiliza-se um teste de normalidade. O teste mais comum utilizado para verificar se os erros possuem distribuição normal é o teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965).

Conway & Lathropet (2005) alertam que, mesmo dentro de uma abordagem holística de gestão de bacias hidrográficas, não se tem a certeza se as estratégias de regulamentação, e planejamento territorial, aplicadas num determinado momento, serão eficazes na proteção dos recursos locais no futuro, especialmente em bacias hidrográficas sujeitas a urbanização. A criação de cenários permite analisar os impactos futuros das ações a serem tomadas, assegurando que sejam eficazes.

Zielinski (2010) menciona algumas razões para se planejar na escala de bacias hidrográficas: (i) a influência da cobertura impermeável sobre a hidrologia, qualidade da água e biodiversidade é facilmente perceptível; (ii) são pequenas o suficiente para que se identifique fontes de poluição não confundindo decisões de gestão; (iii) sua área quase sempre pertence a alguma jurisdição política onde é mais fácil estabelecer uma autoridade, regulamentar e incorporar as partes interessadas no processo de gestão; (iv) o tamanho permite o monitoramento, mapeamento e outras medidas de avaliação em um prazo rápido.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

O mesmo autor considera algumas etapas no planejamento, que devem ser utilizadas para modelar a expansão urbana, a fim de estimar a superfície impermeável futura em uma bacia hidrográfica:

Etapa 1. Identificar as parcelas não urbanizadas e sua categoria dentro dos Zoneamentos Municipais em cada bacia hidrográfica;

Etapa 2. Subtrair a área impedida de construir (áreas de proteção como margens de rios, nascentes, áreas úmidas, encostas íngremes, áreas de conservação, etc) a partir dessas parcelas;

Etapa 3. Calcular a área de rodovias e estradas e adicionar esse número na soma da superfície impermeável.

Etapa 4. Prever a área total de superfície impermeável futura;

Etapa 5. Dividir a área de superfície impermeável futura pela área total da sub-bacia hidrográfica, obtendo a porcentagem de impermeabilização.

Se a área for de grande importância, tal como, manancial de abastecimento público, e estiver sofrendo pressão de desenvolvimento urbano, deve ser considerada sensível, com prioridade mais elevada de planejamento, não ultrapassando 10% de área urbanizada.

3.5. As funções do município na proteção dos recursos hídricos e mananciais

No que concerne ao planejamento territorial, os municípios são responsáveis pela avaliação e pelo estabelecimento de normas, critérios e padrões, relativos ao controle e manutenção da qualidade ambiental em seu território, onde se inserem as leis de ordem ecológica e de uso e da ocupação do solo por meio dos Planos Diretores Municipais[3] (CARNEIRO, 2008). Acrescentando, Lacerda *et al.* (2005) alertam que o município deve incorporar ao seu Plano, as normas contidas no Plano Nacional de Meio Ambiente[4] e no Código Florestal[5].

O desafio maior para os municípios em várias partes do mundo é o de criar medidas preventivas e alternativas reais em relação ao processo de urbanização, que não implique em

[3] Lei nº 10.257/2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana.

[4] Lei n°6.938/1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

[5] Lei n°4.771/1965. Institui o novo Código Florestal.

agravamento nas condições de impermeabilização do solo e de poluição difusa, com impactos diretos sobre os mananciais de abastecimento de água (CONWAY & LATHROPET, 2005). Outro desafio é o de integrar agências diferentes de diferentes níveis de governo que administram o ordenamento do território e recursos hídricos.

Diante desse cenário, Silva (2008) destaca que a estrutura gerencial de recursos hídricos, contemplado pela Lei 9.433 que estabelece a Política Nacional dos Recursos Hídricos, não tem legitimidade e nem competência legal para abranger setores que, embora pesadamente influentes sobre a quantidade e qualidade das águas, não se caracterizam como usuários de recursos hídricos, é o caso, por exemplo, da urbanização, com grande interferência sobre a preservação das áreas de mananciais. Neste contexto, para Carneiro (2008) os municípios ficam impossibilitados legalmente de gerenciarem diretamente os recursos hídricos contidos em seus territórios, a não ser por repasses de algumas atribuições através de convênios de cooperação com Estados ou a União. A participação municipal em Comitês de Bacias Hidrográficas - CBH tem sido a principal, se não única, forma de interação com outros atores públicos e privados relacionados à água.

Decisões diárias sobre o ordenamento do território e gestão da água moldam os padrões de crescimento urbano, ao mesmo tempo em que decisões sobre uso do solo urbano influenciam os sistemas hidrológicos. É muito comum que essa ligação seja ignorada, ou apenas reconhecida, especialmente por políticos sem formação adequada. Frente a isso, atualmente, o Zoneamento Urbano e Rural, proposto nos Planos Diretores Municipais, são instrumentos usados internacionalmente para gerenciar o uso do solo, refletindo positivamente nos recursos hídricos. Entretanto, ainda faltam formas práticas de mensurar os efeitos de tais zoneamentos em escala local (CARTER, KREUTZWISER & LOE, 2005; LERNER & HARRIS, 2009; NIELSEN-PINCUS *et al.*, 2010).

Liu *et al.* (2007) e Lerner & Harris (2009) afirmam que uma abordagem correta seria o zoneamento de acordo com a vulnerabilidade à influência antrópica. O uso da terra seria condicionado à vulnerabilidade do solo, geologia e água, a recuperação e proteção dos recursos hídricos seria uma parte importante do zoneamento do solo municipal.

No que se refere ao suprimento de água, áreas ambientais sensíveis, como as bacias hidrográficas que servem como mananciais, são consideradas lugares vitais para a manutenção em longo prazo da diversidade biológica, solo, água ou outros recursos naturais locais e regionais. A proximidade das cidades vai conferir uma vantagem quanto ao uso

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

dessas bacias hidrográficas, explicando sua valoração social como fonte ou reservas hídricas. Tal valoração envolve a definição de parâmetros para sua apropriação, considerando a possibilidade de serem usadas, simultaneamente ou não, como suporte, recurso e meio de produção de água (NDUBISI, DEMEO & DITTO, 1995; LACERDA *et al.*, 2005; MONTES & RUIZ, 2008; SILVA, 2008).

Este cenário sinaliza a importância de planificação e coordenação entre as autoridades locais de uso do solo e de recursos hídricos (CONWAY & LATHROPET, 2005). No entanto, o que se constata no Brasil é a desarticulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso do solo, refletindo, talvez, certa deslegitimação do planejamento e da legislação urbanística nas cidades brasileiras, marcadas por forte grau de informalidade e mesmo de ilegalidade na ocupação do solo (CARNEIRO, 2008).

Segundo Tucci (2008), as dificuldade enfrentadas pelos municípios para a implementação do planejamento integrado é fruto da limitada capacidade institucional para enfrentar problemas complexos e interdisciplinares.

Para Jouravlev (2003), a natureza essencialmente setorial dos interesses dos governos locais faz com que atuem mais como usuários dos recursos hídricos do que como gestores imparciais desses recursos.

3.6. Plano Diretor Participativo de São Carlos, simulação da ocupação do manancial do ribeirão do Feijão e zoneamento da vulnerabilidade

A Constituição de 1988 vincula o cumprimento da função social da propriedade urbana ao atendimento das exigências contidas no Plano Diretor, conforme o disposto no § 2 º do art. 182: A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende as exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no Plano Diretor, atendendo simultaneamente aos seguintes requisitos: aproveitamento racional e adequado; utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988).

O Estatuto da Cidade, Lei Federal n° 10.257 de 10 de julho de 2001, regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal e prevêem as normas que devem ser adotadas para uso, desuso e tributação do solo nas cidades. Esta lei permite a aplicação de instrumentos em situações, na qual a propriedade urbana não atende sua função social, que são a de não estar edificada e de estar subutilizada. Ainda, de acordo com o referido estatuto, o conteúdo mínimo de um Plano Diretor deve incluir assuntos como parcelamento, edificação, direito de

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

preempção, outorga onerosa do direito de construir, operações urbanas consorciadas e transferência do direito de construir.

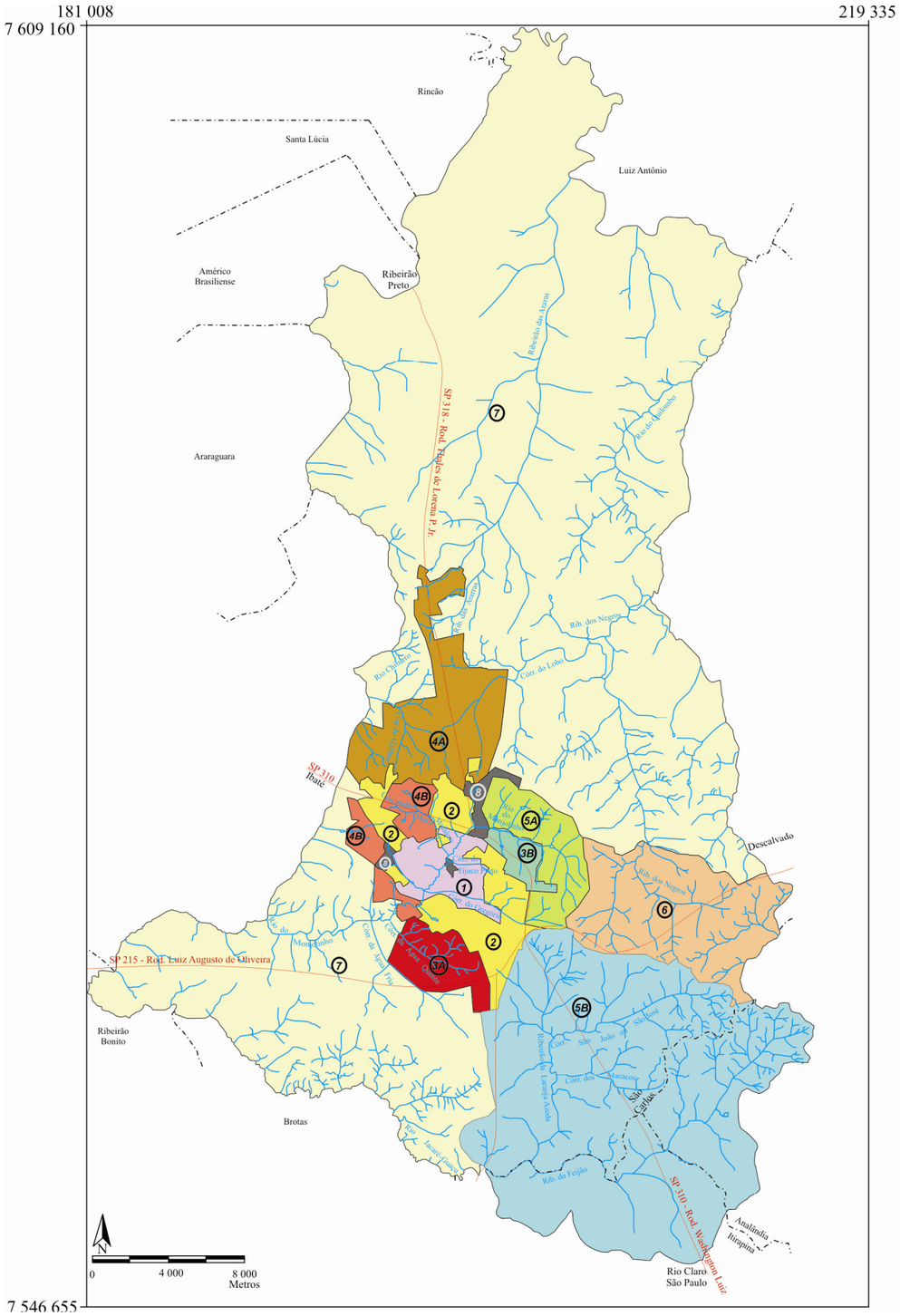
O processo de elaboração do Plano Diretor de São Carlos (SÃO CARLOS, 2005) iniciou-se com a realização de reuniões plenárias públicas, para que ocorresse o debate e a divulgação dos trabalhos realizados. O passo seguinte foi a constituição do Comitê Consultivo, com representantes da sociedade civil organizada. A seguir, constituiu-se a Comissão Executiva, com membros de diferentes setores da administração pública municipal. Para coordenar as ações governamentais no processo de elaboração, criou-se o Grupo de Trabalho Técnico Operacional com vários técnicos de diferentes setores do governo sob a coordenação da Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, cuja atribuição foi a de desenvolver trabalhos de pesquisa, entrevistas, mapeamentos e levantamentos diversos de cada tema, bem como organizar os dados obtidos. Na etapa final, realizaram-se reuniões setoriais para as discussões do referido plano com diferentes segmentos da sociedade civil. Esta etapa contou com a assessoria do Instituto Pólis e da Professora Sarah Feldman, do Programa de Pós-Graduação do Curso de Arquitetura e Urbanismo da EESC-USP.

O Plano Diretor de São Carlos apresenta os seguintes componentes principais:

I. Macrozoneamento do município;
II. Zoneamento das macrozonas urbana e rural;
III. Áreas de principal interesse;
IV. Diretrizes viárias;
V. Parcelamento, uso e ocupação do solo;
VI. Instrumentos de indução da política urbana (utilização, edificação e parcelamentos compulsórios; direito de preempção; direito de superfície; outorga onerosa do direito de construir; outorga onerosa de alteração de uso do solo; operações urbanas consolidadas; transferência do direito de construir, estudo de impacto de vizinhança);
VII. Sistema de gestão e planejamento do desenvolvimento urbano.

O mencionado plano apresenta como componente principal o Zoneamento Municipal definindo as áreas adequadas para a expansão urbana as Zonas 1, 2, 3A, 4A e 4B; e as Zonas 3B, 5A, 5B, 6, 7 são definidas como inadequadas (Figura 10).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

Zona 1 - Ocupação induzida	Essa zona possui as melhores condições de infraestrutura da cidade, além de lotes vazios e imóveis vagos e subutilizados.
Zona 2 - Ocupação condicionada	Essa zona é composta por áreas com predominância de uso misto do território, com grande diversidade de padrão ocupacional. Tem como principais diretrizes prover áreas infraestruturadas para uso de habitação popular e assegurar as condições urbanísticas e ambientais adequadas para o "Distrito Industrial Miguel Abdelnur".
Zona 3A - Recuperação e ocupação controlada	A Zona 3A tem como diretriz garantir a diversidade de usos a fim de atrair comércio, serviços e atividades que gerem trabalho e renda, portanto, é destinada a ocupação urbana. Entretanto essa Zona é caracterizada pela presença de parcelamentos irregulares do solo, encostas com alta declividade e suscetível à erosão, córregos assoreados e infraestrutura precária.
Zona 3B -	A Zona 3B está localizada na área do manancial de captação superficial do Córrego do Monjolinho, sendo restrita a ocupação como eixo de expansão urbana.
Zona 4A - Recuperação e ocupação controlada	A Zona 4A possui áreas com fortes tendências para a expansão urbana, com concentração de novos empreendimentos imobiliários como condomínios, loteamentos, bem como outros usos relacionados ao esporte, lazer e serviços. Essa zona está próxima do aeroporto Mário Pereira Lopes e da área industrial do Loteamento Jardim Jockey Clube. Nessa área está situado o Aterro Sanitário Municipal, sendo restrita a ocupação nas proximidades.
Zona 4B -	A Zona 4B em função da proximidade do Campus II da Universidade de São Paulo USP e por possuir infraestrutura urbana já instalada se caracteriza pelo potencial de expansão urbana.
Zona 5A - Proteção e ocupação restrita	Essas zonas apresentam restrições ao crescimento urbano, tendo como principal diretriz promover a proteção e a recuperação da qualidade e da quantidade de águas superficiais que compõem os mananciais de abastecimento público. A Zona 5A é caracterizada por ser área de proteção e preservação do manancial do rio do Monjolinho. Além disso, essa zona também conta com nascentes do córrego do Gregório.
Zona 5B -	A Zona 5B é caracterizada por ser área de proteção e preservação do manancial do ribeirão do Feijão. Essa zona também abrange parte da Área de Proteção Ambiental - APA do Corumbataí, além de contar com a existência de propriedades do ciclo cafeeiro de interesse histórico.
Zona 6 - Produção agrícola familiar	Essa zona é caracterizada por pequenas propriedades rurais baseadas na agricultura familiar, com produtividade diversificada; solos com permeabilidade próxima da condição natural; região de nascentes do ribeirão dos Negros, do Quilombo e do Pântano além de outras, tendo que ser privilegiado a proteção e recuperação dessas nascentes.
Zona 7 - Uso predominantemente agrícola	Essa zona é caracterizada pela produção agrícola; abundância de recursos hídricos; diversidade de solos e de estrutura fundiária; predomínio da agroindústria: sucroalcooleira, citrícola, láctea, de carne bovina e de avicultura de corte; áreas de grande potencial de lazer e turismo, cachoeiras e propriedades históricas.
8 - Campi Universitários	Incorpora os Campi Universitários contíguos a malha urbana (UFSCar - Universidade Federal de São Carlos e USP - Universidade de São Paulo).

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH

Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 10. Zoneamento do Município de São Carlos (adaptado de SÃO CARLOS, 2005) – (FIGURA 44).

Além dos coeficientes de ocupação e aproveitamento do solo, o referido plano prevê o coeficiente de permeabilidade e o de cobertura vegetal, definidos de acordo com a zona de ocupação, sendo o coeficiente de vegetação aplicado somente em áreas de mananciais.

Quanto ao uso do solo, o Plano Diretor prevê que todo território poderá ser habitacional, destinado a moradia; não habitacional destinado ao exercício de atividades comerciais e industriais ou mistos, desde que atendidas às restrições quanto a atividades geradoras de impactos e de incômodos. Deste modo, o Plano Diretor restringe, porém não proíbe, o uso do solo para fins urbanos nas Zonas 5A e 5B que se caracterizam por serem áreas de proteção e preservação dos mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão.

Diante disso, Pereira (2010 *no prelo*) simulou por meio de cenários, os impactos ambientais provocados pela expansão urbana no manancial do ribeirão do Feijão, cruzando os mapas de uso e cobertura do solo, APPs, declividade e pedologia por meio de SIG. Os resultados mostraram que as áreas com maiores susceptibilidades à erosão encontram-se em declives mais acentuados. Assim, com base no Projeto de Lei que dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos – APREM (Anexo II) pôde ser proposta as áreas mais adequadas para construção de um loteamento de característica rural, visando o menor impacto ambiental possível. A área disponível representa uma pequena parcela da área da bacia e ainda menor no espaço pertencente ao município de São Carlos. É nesse ponto do trabalho que entra a questão da recuperação do manancial superficial, pois ficou evidenciado que não se trata de uma área adequada para expansão urbana. Segundo a autora, de modo reverso, o estudo ainda possibilita estimar o tamanho da área a ser recuperada ou preservada, de modo a garantir a manutenção da biodiversidade e preservação dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos (Figura 11).

Visando contribuir para um planejamento territorial que restrinja a ocupação das áreas instáveis no manancial do Feijão, foi elaborado por Cunha (2010 *no prelo*) um mapa de vulnerabilidade ambiental. Este mapa representa o comportamento da bacia através das relações entre variáveis ambientais, tais como, cobertura do solo, pedologia, geologia, pluviosidade e geomorfologia, esta última baseia-se nos índices de dissecação do relevo. Os resultados apontam que o relevo foi a variável mais significativa, seguido da cobertura do solo, pedologia, geologia e pluviosidade. Assim, por serem as áreas críticas, foram consideradas classes com riscos ambientais a área "instável" e de "instabilidade emergente" (Figura 12).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

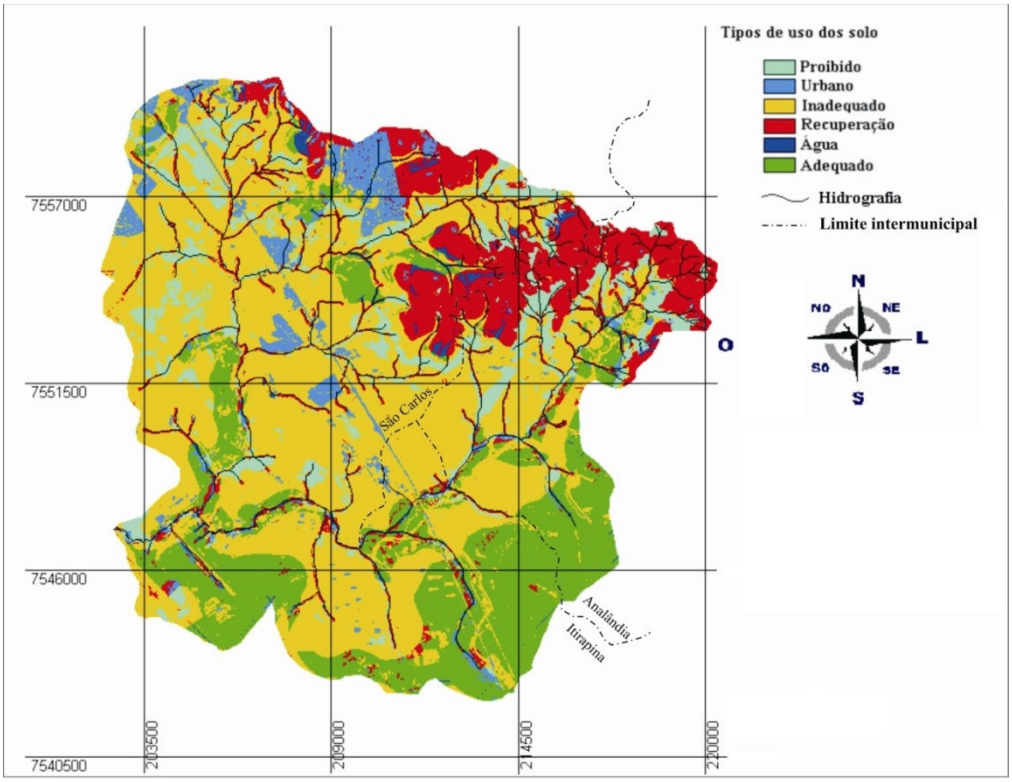


Figura 11. Simulação de expansão urbana no manancial do Feijão (adaptado de PEREIRA, 2010).

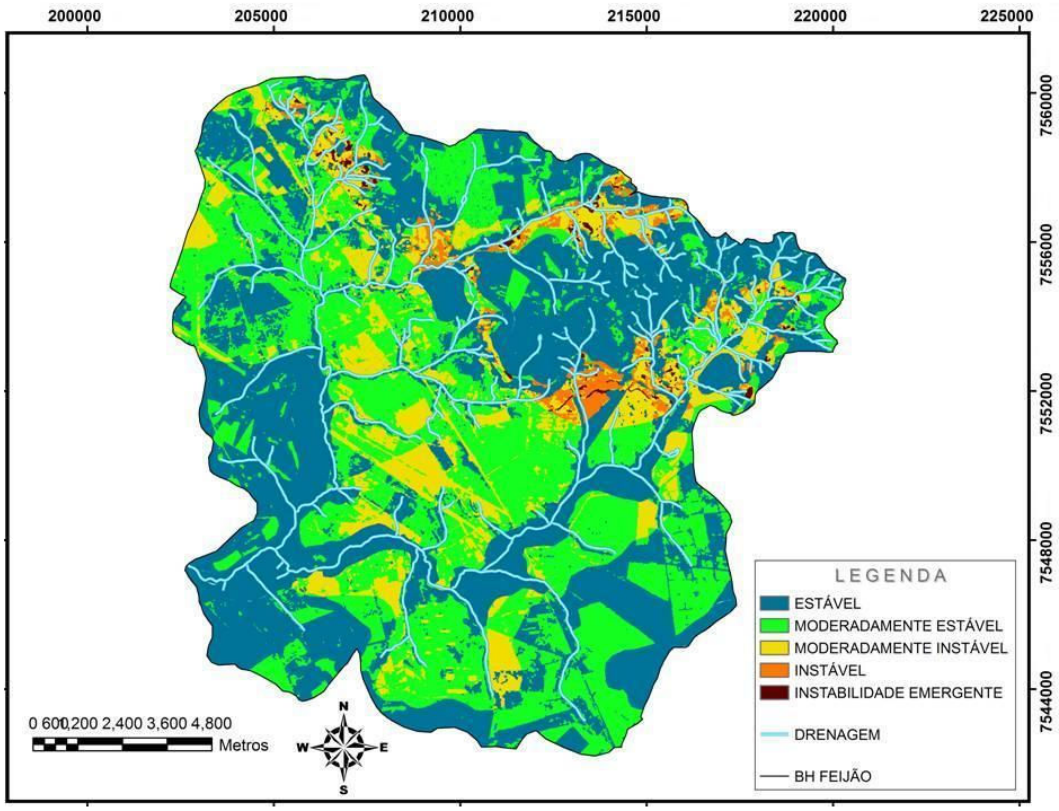


Figura 12. Zonemento da vulnerabilidade ambiental no manancial do ribeirão do Feijão (adaptado de CUNHA, 2010).

Paes *et al.* (2010) descreve a importância conjunta da cobertura vegetal, das áreas de APPs e do manejo do solo para a atenuação dos processos erosivos hídricos decorrentes do uso do solo para fins agrícolas. Importância deve ser dada ao planejamento do uso da terra através da aplicação de práticas conservacionistas.

Oliveira (2010) estimou o Potencial Natural de Erosão - PNE no manancial do ribeirão do Feijão, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS que permite estimar a erosão sob as mais variadas condições de uso e manejo do solo. Os resultados mostraram que o potencial de erosão é variável considerando os fatores envolvidos, por exemplo, o uso e cobertura do solo. A partir do uso e cobertura do solo, elaborado com imagens do satélite Alos de 2006, as áreas de mata ciliar apresentaram menores perdas de solo, com 0,18 t/ha.ano, em áreas de pastagens a perda foi estimada em 49,73 t/ha.ano, já o solo exposto (em virtude de práticas agrícolas) apresentou a maior perda com 1.887,72 t/ha.ano. Segundo a autora, grandes impactos foram verificados nas áreas de plantações de cana-de-açúcar e de laranja, pois além da remoção dos horizontes superficiais do solo, onerando os custos futuros de produção, os rios são assoreados, causando alterações no seu comportamento hidrológico, além da sua degradação, enquanto recurso e ecossistema. Ainda, com o diagnóstico da perda de solo, têm-se subsídios para o planejamento de ações futuras em relação à cobertura e ao manejo do manancial. Assim, é de suma importância que haja o planejamento do uso da terra e a aplicação de práticas conservacionistas, principalmente o plantio em contorno, já que as porções mais frágeis da área de estudo situam-se em topografia acidentada (Figura 13).

Pedro & Lorandi (2004) avaliaram o Potencial Natural de Erosão (PNE) na área urbana e periurbana de São Carlos abrangendo o manancial do ribeirão do Feijão. Segundo os autores, o elevado crescimento populacional da cidade tem acelerado a implantação de novos loteamentos, que pelo caráter emergencial ou especulativo, geralmente têm sido realizados de maneira não planejada. Essa ocupação desordenada das áreas periurbanas mais frágeis tem desencadeado sérios problemas erosivos. Nestas áreas deveriam ser estabelecidos programas de combate, controle e prevenção da erosão, que não descartassem a possibilidade de adoção de novas alternativas de uso, menos intensivas. Nesse estudo verificou-se que a região Noroeste apresenta menores riscos de erosão, enquanto que as regiões Sudoeste e Sudeste apresentaram riscos elevados, sendo mais desfavoráveis para urbanização (Figura 14).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

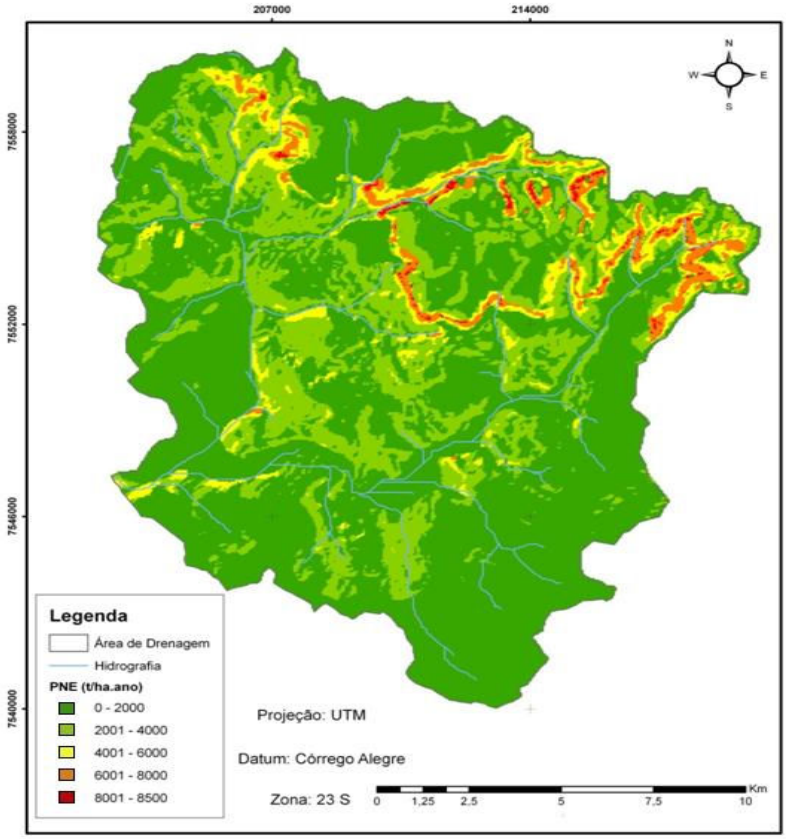


Figura 13. Perda Natural de Erosão no manancial do Feijão (adaptado de OLIVEIRA, 2010).

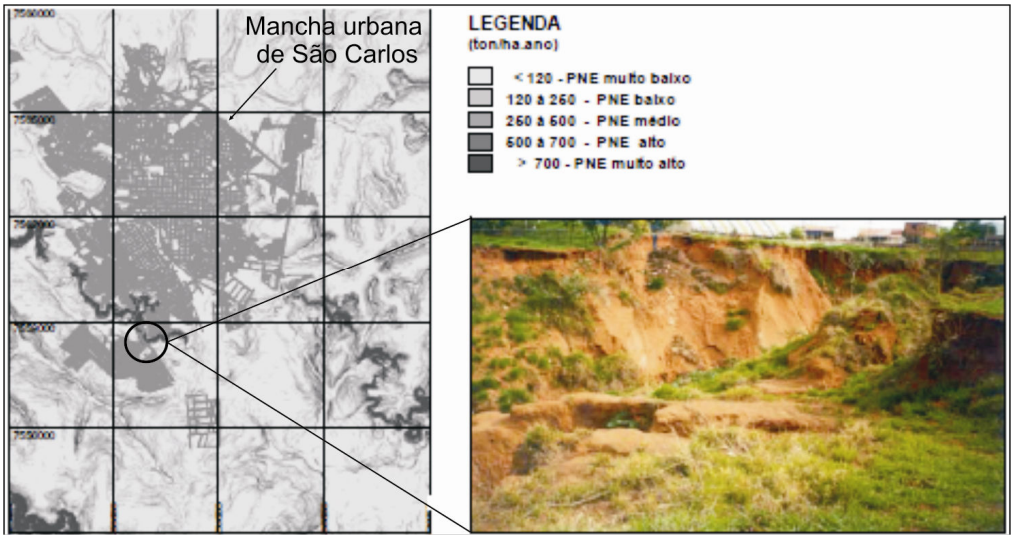


Figura 14. PNE na região periurbana de São Carlos, no detalhe, área no Bairro Cidade Aracy, com PNE muito alto (adaptado de PEDRO & LORANDI, 2004).

Pons, Pejon & Zuquette (2007) elaboraram um diagnóstico geológico-geotécnico das áreas degradadas e em processo de degradação na área urbana e de expansão da cidade de São Carlos. As informações do meio físico foram integradas e representadas no SIG associado ao banco de dados. A fotointerpretação de fotografias aéreas de diferentes datas e imagem do

satélite Ikonos com resolução espacial de um metro permitiram identificar que a maioria das degradações encontradas na cidade foram causadas pela ocupação inadequada que não considerou as condições ambientais existentes e estão relacionadas a erosão, desmatamento de nascentes, retirada de mata ciliar, assoreamento e áreas de mineração.

A descontaminação das águas subterrâneas requer técnicas caras e que ainda não são totalmente garantidas, comparadas com a descontaminação de águas superficiais (GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006). Tendo em vista a necessidade de evitar-se a poluição das águas subterrâneas, Zuquette, Palma & Pejon (2009) elaboraram um zoneamento territorial com base na poluição das águas subterrâneas nos arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia, na região de São Carlos e Ribeirão Preto. Os autores dividiram a região em 447 unidades, de acordo com o tipo de uso do solo, tamanho da bacia e a homogeneidade litológica. As unidades foram avaliadas quanto ao grau e predisposição à poluição, sendo que cerca de 30% da região foi classificada com alto grau de poluição e 70% apresentou condições de predisposição. Desta forma, puderam ser destacadas as áreas onde o planejamento territorial deve ser focado. Estas unidades necessitam acompanhamento dos níveis de poluição com especial atenção para os adubos químicos. Entre essas áreas está o manancial do ribeirão do Feijão (Figura 15).

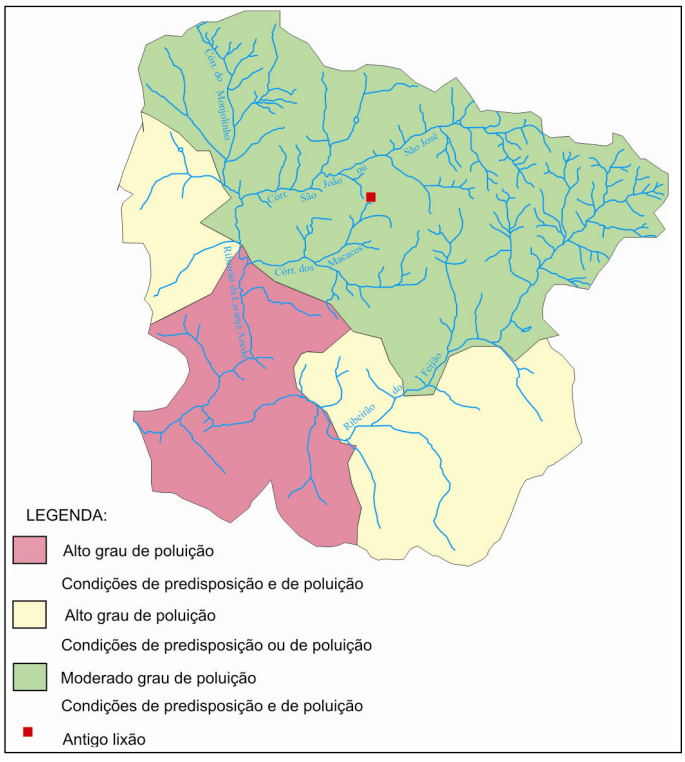


Figura 15. Condições de predisposição e de poluição de águas subterrâneas no manancial do ribeirão do Feijão (adaptado de ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

CAPÍTULO IV – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os dados primários e secundários envolvidos e as técnicas utilizadas para a elaboração dos resultados, bem como as etapas transcorridas.

4.1. Materiais

Na Tabela 2 são apresentadas as características das fotografias aéreas e imagens de satélites utilizadas.

Tabela 2. Características das fotografias aéreas e imagens dos satélites.

Imagens	Fonte	Sensor	Data	Res. espacial	Bandas
Fotografia aérea*	IAC	-	1962	1:25.000	-
	IBC	-	1972		-
Satélite LANDSAT 5	INPE	TM	10.06.1986	30 metros	5, 4 e 3
			04.05.1996		3, 4 e 2
Satélite Alos	JAXA**	AVNIR-2	12.11.2006	10 metros	3, 2 e 1

*IAC (1962) e IBC (1972) *apud* DUPAS (2001).

**Fornecidas pelo projeto FAPESP 98/10924-3 - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA/UNIFEI.

Na Tabela 3 são mostradas as cartas topográficas, geológicas, pedológicas e do Zoneamento Municipal, utilizadas na montagem do danco de dados.

Tabela 3. Cartas utilizadas.

Cartas	Cidade	Referência	Fonte	Escala
Topográficas	São Carlos	SF-23-Y-A-I-1	IBGE (1971)	1:50.000
	Corumbataí	SF-23-Y-A-I-2		
	Ibaté	SF-23-V-C-IV-3		
	Descalvado	SF-23-V-C-IV-4		
Geológicas	Campinas	SF-23-Y-A	DAEE (1982)	1:250.000
	Ribeirão Preto	SF-23-Y-C		
	São Carlos	Mapa do substrato rochoso	NISHIYAMA (1991)	1:100.000
		Mapa de águas superficiais		
Pedológicas	São Carlos	SF-23-Y-A-I	IAC (1981)	
	Descalvado	SF.23-V-C-IV	IAC (1982)	
Zoneamento	São Carlos	-	São Carlos (2005)	1:60.000

Os planos de informação do banco de dados digital georreferenciado foram elaborados utilizando os seguintes aplicativos: *Idrisi* versão Andes 15.0, *Global Mapper* V8.03, *AutoCAD* (2008), *Google Earth* (2010), além de um GPS da marca Garmim, modelo *Etrex*

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Summit. A confecção final dos mapas foi feita no *CorelDRAW* versão X4. Para efetuar as análises estatísticas foram utilizados os pacotes computacionais Tinn-R 2.3.4.4. e R-2.10.1, além do *Microsoft Excel* versão 2007.

4.2. Localização e dados prévios da área de estudo

O município de São Carlos localiza-se na região sudeste do Brasil (Figura 16A) e central do estado de São Paulo, entre os paralelos 22°00' e 22°30' S e 47°30' e 48°00' W, a aproximadamente 230 Km a noroeste da capital. A área do município é de 1.140,92 Km²; a população em 2009 era de 226.789 habitantes dos quais 96,4% estão na área urbana (SEADE, 2010). Em 2006 a área urbanizada, ora caracterizada como superfície impermeabilizada nesta pesquisa, é de aproximadamente 73,95 Km². Segundo São Paulo (2009) a economia da região é caracterizada pela presença de usinas de açúcar e álcool, pela cultura de laranja e agropecuária, além do pólo tecnológico de São Carlos.

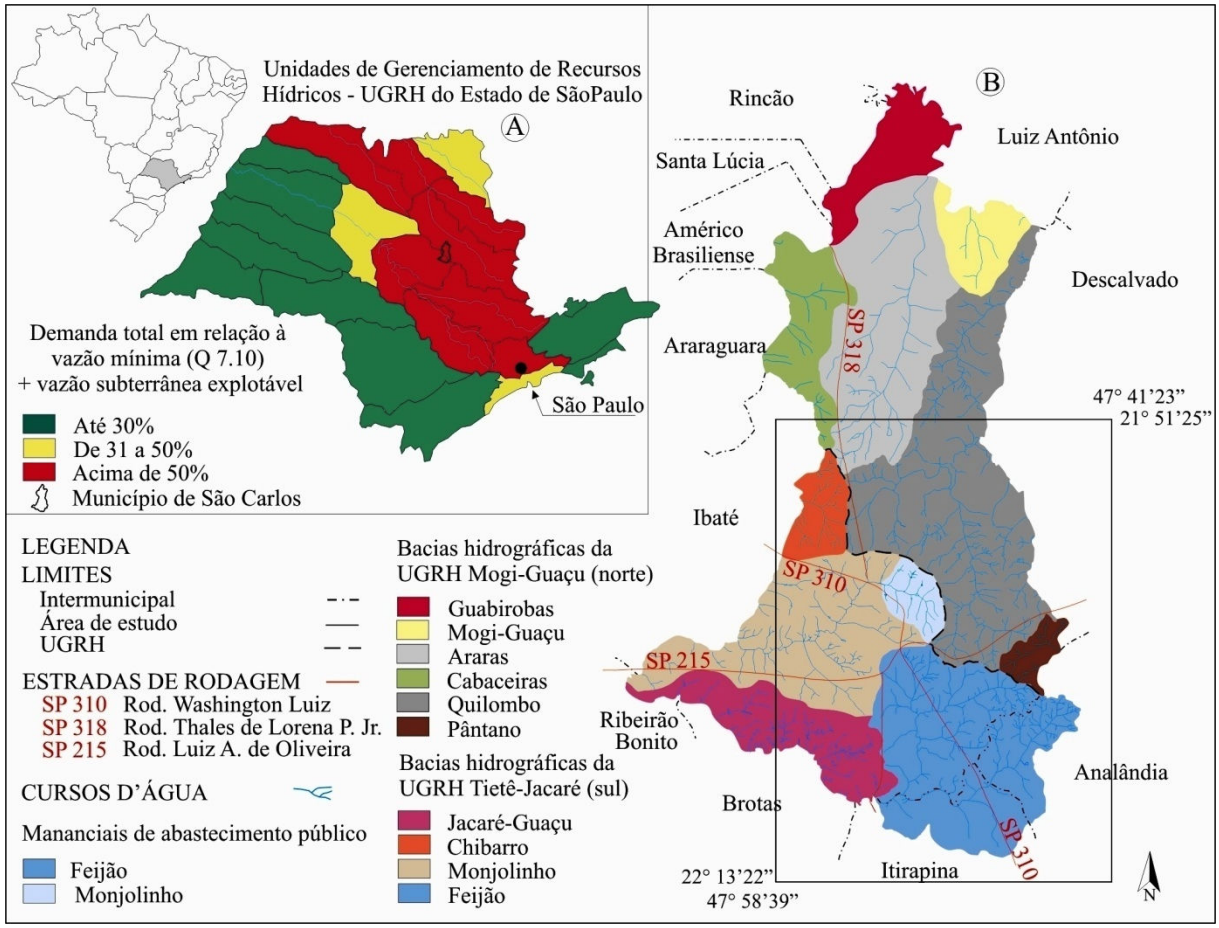


Figura 16 (A e B). Área de estudo e balanço entre disponibilidade x demanda de água no Estado de São Paulo. Fontes: adaptado de: (A) (SÃO PAULO, 2009) e (B) TUNDISI *et al.* (2007).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

O município está localizado sobre o divisor de águas de duas UGRHI do Estado de São Paulo, ao norte do Mogi-Guaçu e ao sul do Tietê-Jacaré. DAEE (2008, *apud* SÃO PAULO, 2009) considera que essas UGRH já utilizam mais de 60% da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea.

O município de São Carlos é dividido em nove sub-bacias hidrográficas (Figura 16B). A área adotada para este estudo cobre uma extensão de aproximadamente 1.160 Km² sendo envolvida por um polígono limitado pelas coordenadas 21° 51' 25" e 22° 13' 22" latitude sul, 47° 41' 23" e 47° 58' 39" longitude oeste, a qual foi determinada de modo a abranger toda área urbanizada e de expansão urbana, bem como as bacias hidrográficas do rio do Monjolinho e ribeirão do Feijão, as quais servem como mananciais para abastecimento público.A seguir são apresentados os dados de clima, relevo, hidrografia, geologia, pedologia, vegetação, população e de uso e demanda hídrica para fins de abastecimento público.

4.2.1. Clima

Usando a classificação de Köppen, o tipo climático de São Carlos é o Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. A temperatura média anual é de 19,5°C, sendo que, a máxima média mensal é registrada nos meses de janeiro e fevereiro com 21,9ºC e a mínima média mensal no mês de julho com 15,9ºC. O valor médio de precipitação é de 1.512 mm, e a umidade relativa é de 66%. Os ventos predominantes são de nordeste, seguidos por ventos de sudeste (CEPAGRI, 2010).

4.2.2. Relevo e hidrografia

O relevo é constituído de mesas e morros isolados. A configuração de planalto cortado por vales entalhados é uma das características das zonas de transição entre as Cuestas e o Planalto Ocidental. As menores cotas, 775 metros, localizam-se nos vales, enquanto as maiores no planalto, ultrapassando os 1.000 metros de altitude (NISHIYAMA, 1991).

Dentre os rios mais importantes destacam-se o Monjolinho, Galdino, Mineirinho, Gregório, Tijuco Preto, Água Quente, Água Fria, Feijão, Laranja Azeda, Chibarro e dos Negros. Quase toda área urbana, excetuando-se o condomínio Valparaíso, os distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia está situada na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, sendo que a maior parte é drenada pelo rio do Monjolinho que banha a região central e norte da cidade e uma pequena parte pelo ribeirão do Feijão a sudeste. O ribeirão do Feijão, principal manancial

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

que abastece a cidade de São Carlos, encontra-se a aproximadamente 13 km do centro da cidade, o outro manancial é do rio do Monjolinho, localizado mais ao norte da cidade, como apresentado na Figura 16B.

4.2.3. Geologia

Segundo DAEE (2005), na era paleozóica (545 a 248 milhões de anos - Ma), desde o período Devoniano (417 a 354 Ma), depositaram-se, nessa região do Estado de São Paulo, extensos pacotes sedimentares em ambiente preponderantemente marinho. No Triássico (248 a 206 Ma) o mar regrediu e não mais retornou. Em ambiente continental, rios e lagos se formaram e o clima foi se transformando até se tornar inteiramente desértico. É neste tempo que ocorre a deposição de arenitos eólicos em sucessivos campos de dunas (formações Pirambóia, durante o Triássico, e Botucatu, durante o Jurássico (206 a 142 Ma). No início do Cretáceo (142 a 65 Ma), ainda em condições desérticas, a Bacia do Paraná foi afetada por intenso vulcanismo da Formação Serra Geral: sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu. Depois, no fim do Cretáceo, já em clima semi-árido, depositaram-se sobre os basaltos seqüências de arenitos calcíferos (Grupo Bauru).

Na Figura 17 é apresentado o perfil geológico da região de São Carlos. Segundo Zuquette (1981):

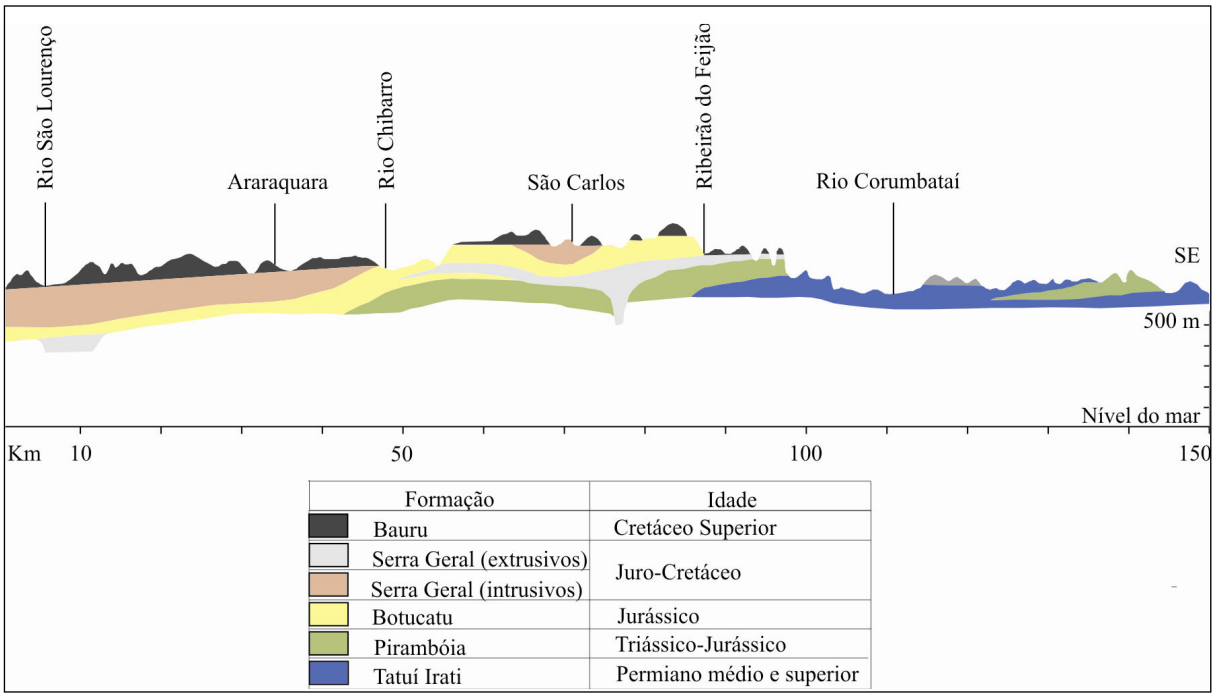


Figura 17. Seção geológica da região de São Carlos (adaptado de ZUQUETTE, 1981).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

a) Formação Pirambóia: de cores avermelhadas e amareladas, ocorrem em pequena porção da área de estudo, a oeste e sudeste, se posicionando aos pés das cuestas entre altitudes que variam de 650 a 750 metros. É identificada pelos arenitos finos e médios, com predominância fina. Em geral, apresentam pouca profundidade de material inconsolidado, perto de um metro e grau de permeabilidade entre 10^{-4} e 10^{-3} cm/s .

b) Formação Botucatu: de cor avermelhada, aflora nas regiões sul, norte, noroeste e nordeste da área de estudo. São caracterizadas por arenitos homogêneos com granulometria fina a média. Sua espessura apresenta valores da ordem de 280 metros, com escarpas verticais com desníveis topográficos superiores a 200 metros. Representa uma importante unidade do ponto de vista das águas subterrâneas, sendo a principal formadora do Aquífero Guarani. O residual do Botucatu apresenta pouca profundidade, não ultrapassando dois metros. A fração areia é sempre superior a 75%. O coeficiente de permeabilidade está entre 10^{-4} e 10^{-2} cm/s ou superior, facilitando a infiltração.

c) Formação Serra Geral: rochas vulcânicas de coloração cinza e negra, representada principalmente por derrames de basalto e corpos intrusivos. Afloram a leste, a oeste, a nordeste e a norte, na estreita região das cuestas, onde ocorre a quebra do relevo, frequentemente em forma de paredões, sendo que em diversos pontos acha-se recoberta por solo residual. Geralmente em encostas e vales, apresenta-se fraturada, com espessura ao redor de 165 metros. O material inconsolidado varia em torno de cinco metros de profundidade. Dados do coeficiente de permeabilidade são de 10^{-1} e 10^{-5} cm/s, em média.

d) Formação Bauru: está sobreposto na Formação Botucatu e na Formação Serra Geral, no reverso das cuestas. Aflora ao norte da área e é representada por arenitos não cimentados, de granulometria fina e coloração amarela a avermelhada. Quanto à espessura, nesta região atinge cerca de 30 m. O residual do Grupo Bauru apresenta espessuras variando de zero a dois metros, com granulometria de areia fina a média até argila arenosa. Os coeficientes de permeabilidade apresentam variações de 10^{-5} e 10^{-2} cm/s.

e) Sedimentos Cenozóicos: ocorrem principalmente ao sul da área, com granulometria predominante de areia. São encontrados em depósitos aluvionares e coluvionares.

4.2.4. Aquífero Botucatu ou Guarani

O conceito hidrogeológico dessa formação aquífera pode ser resumido em uma grande esponja que armazena água. A infiltração basicamente se dá na área potencial de recarga, a

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

área de afloramento da Formação Botucatu (DAEE, 2003). Segundo DAEE (2005) a região de São Carlos está localizada sobre a faixa aflorante que se estende de norte a sul do estado. Pela Figura 17 observa-se que o manancial do Feijão situa-se sobre a franja da Formação Botucatu fazendo com que essa bacia hidrográfica seja considerada uma importante área de recarga (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991).

4.2.5. Pedologia

Segundo IAC (1981, 1982) as seguintes classes de solos são identificadas: Latossolo vermelho-amarelo, Vermelho escuro e Roxo; Pedzólico Vermelho-amarelo, Terra Roxa Estruturada, Areias Quartzozas Profundas, Solos Litólicos e Solos Hidromórficos.

4.2.6. Vegetação

Segundo Soares *et al.* (2003, *apud* Martins, 2004) e Oliveira (1996) as fisionomias típicas presentes na região são as florestas semidecídua e ripariana, o cerradão (savana arbórea) e o cerrado (savana arbórea esparsa).

4.2.7. População e recursos hídricos

Na Tabela 4 são apresentados dados censitários referentes à população do município de São Carlos de 1962 até 2009.

Tabela 4. Série temporal de 30 anos de população urbana e rural. Fonte: SEADE (2010).

Anos	Urbana	Rural	Total	Anos	Urbana	Rural	Total
1962	-	-	65.312	1994	159.662	9.715	169.377
1972	-	-	91.214	1995	163.637	9.687	173.324
1980	109.753	9.259	119.012	1996	167.563	9.659	177.222
1981	112.888	9.333	122.221	1997	171.413	9.631	181.044
1982	116.088	9.402	125.490	1998	175.339	9.603	184.942
1983	119.355	9.464	128.819	1999	179.270	9.575	188.845
1984	122.686	9.521	132.207	2000	183.092	9.547	192.639
1985	126.084	9.571	135.655	2001	187.161	9.364	196.525
1986	129.545	9.617	139.162	2002	191.304	9.184	200.488
1987	133.070	9.657	142.727	2003	195.524	9.008	204.532
1988	136.659	9.690	146.349	2004	199.824	8.834	208.658
1989	140.308	9.719	150.027	2005	204.202	8.665	212.867
1990	144.020	9.742	153.762	2006	207.722	8.544	216.266
1991	147.750	9.799	157.549	2007	211.293	8.425	219.718
1992	151.778	9.771	161.549	2008	214.918	8.308	223.226
1993	155.722	9.743	165.465	2009	218.598	8.191	226.789

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Para fins de abastecimento público, o município de São Carlos utiliza-se de fontes superficiais e subterrâneas de recursos hídricos. Na Tabela 5, são apresentadas as vazões de retirada de água superficial por estação de captação de 1989 até 2009, além dos rios utilizados para este fim e as vazões de retirada de água subterrânea, os valores são dados em litros por segundo (L/s) e em porcentagem.

Tabela 5. Recursos hídricos utilizados para abastecimento da cidade de São Carlos/SP. Fonte: SAAE (2010a), *SAAE (1989, *apud* Dupas, 2001).

Anos	Captações superficiais L/s			Captações superficiais		Fontes subterrâneas		Total
	Galdino	Monjolinho	Feijão	L/s	%	L/s	%	L/s
1989*	50,0	180,0	364,0	594,0	91,4	56,0	8,6	650,0
1994	-**	135,0	238,0	373,1	57,6	274,7	42,4	647,8
1995	-	148,6	243,1	391,7	57,6	287,9	42,4	679,7
1996	-	180,5	233,5	413,3	57,3	308,5	42,7	721,9
1997	-	199,3	208,2	407,5	53,3	356,7	46,7	764,2
1998	-	229,5	189,9	419,4	53,8	359,9	46,2	779,3
1999	-	216,5	193,7	410,2	53,9	351,3	46,1	761,5
2000	-	195,2	202,8	398,0	53,1	351,4	46,9	749,4
2001	-	187,8	239,1	426,9	57,4	317,3	42,6	744,2
2002	-	207,5	207,8	415,3	55,9	327,4	44,1	742,7
2003	-	230,2	234,2	465,6	57,6	342,9	42,4	808,5
2004	-	223,5	224,8	448,3	55,1	365,3	44,9	813,6
2005	-	228,9	218,4	447,3	52,2	408,9	47,8	856,2
2006	-	227,7	216,0	443,7	51,7	414,9	48,3	858,6
2007	-	205,2	240,2	445,4	50,8	431,1	49,2	876,5
2008	-	216,6	249,6	468,0	52,7	420,7	47,3	888,8
2009	-	225,9	246,3	472,3	51,8	439,2	48,2	911,4

**O córrego do Galdino tornou-se impróprio para abastecimento urbano entre 1989 e 1994.

4.3. Métodos

O fluxograma geral da metodologia empregada é apresentado na Figura 18, sendo as fases enumeradas para facilitar a organização e entendimento da estrutura de execução.

Os mapas foram gerados com sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W Gr. Datum horizontal Córrego Alegre, Datum vertical Imbituba.

Os objetivos (4.3.1) foram definidos no Capítulo II.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

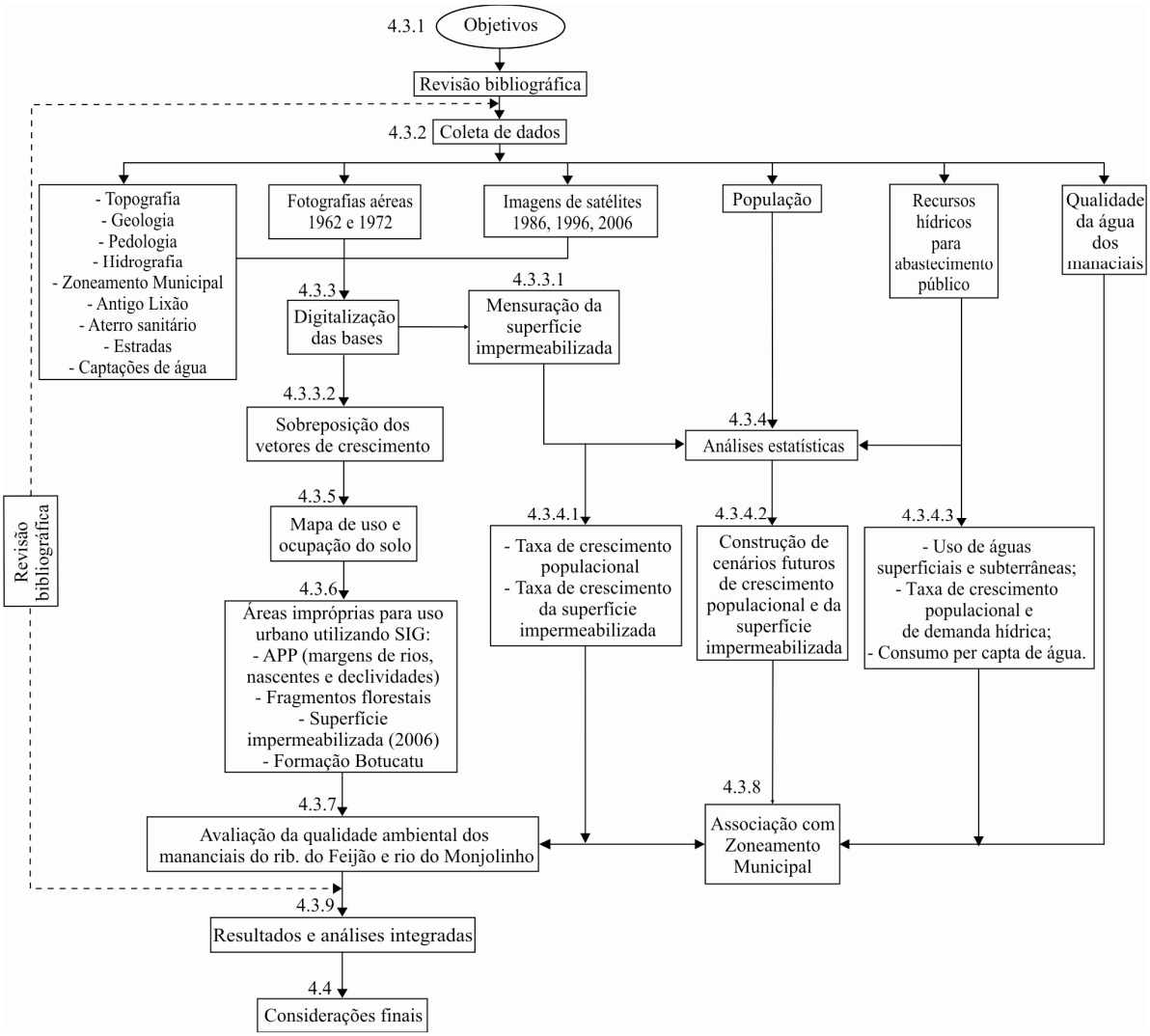


Figura 18. Fluxograma geral do método.

Foi elaborada a revisão bibliográfica utilizando teses, dissertações, artigos nacionais e internacionais.

Em 4.3.2 as fontes das cartas topográficas, geológicas, pedológicas, do Zoneamento Municipal, das fotografias aéreas e imagens de satélites foram definidas no Capítulo IV, Item 4.1. - Materiais. As fontes dos dados populacionais e dos recursos hídricos utilizados para fins de abastecimento público foram definidas no Item 4.2.7. - População e recursos hídricos. Os índices de qualidade da água dos mananciais do Feijão e do Monjolinho foram obtidos de trabalhos anteriores realizados na área de estudo por Tundisi *et al.* (2007) e Peláez-Rodrígues (2001).

Na sequência, (4.3.3) as cartas topográficas, geológicas, pedológicas e do Zoneamento Municipal, obtidas no formato digital, foram georreferenciadas e vetorizadas. Informações

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

como curvas de nível, redes de drenagens, malhas viárias e bacias hidrográficas foram extraídas das cartas topográficas, escala 1: 50.000 (IBGE, 1971).

As fotografias aéreas dos anos de 1962 e 1972 foram adquiridas em arquivos digitais na forma de mosaico de Dupas (2001). As imagens de satélites passaram por técnicas padrão de processamento de imagens.

Em 4.3.3.1 considerou-se que áreas urbanas residenciais, comerciais, complexos industriais, incluindo as vias asfaltadas, mercados, etc. são impermeáveis (JAT, GARG & KHARE, 2008). Via o aplicativo *Global Mapper* foram efetuadas as vetorizações das manchas urbanas, que ora são representadas pelas superfícies impermeabilizadas dos anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 obtendo-se os vetores multitemporais de crescimento. Estas superfícies foram mensuradas transformando imagens vetoriais em booleanas, sendo posteriormente, calculadas as áreas, utilizando o programa *Idrisi* Andes.

Utilizando a metodologia proposta por Dupas (2001) (4.3.3.2), a sobreposição dos vetores de crescimento da superfície impermeabilizada orientou a determinação da tendência e direcionamento do crescimento da mancha urbana, representando seu comportamento no tempo e no espaço.

Por meio de análises estatísticas (4.3.4) foram feitas comparações multitemporais entre as taxas de crescimento da população e as taxas de crescimento da superfície impermeabilizada. Um segundo momento, constituiu-se na utilização da ferramenta estatística de regressão linear para geração de cenários futuros de crescimento da população e da superfície impermeabilizada. No passo seguinte realizou-se o balanço multitemporal (1989 a 2009) entre o crescimento populacional e o uso de fontes superficiais e subterrâneas de água para fins de abastecimento público com os dados da Tabela 4 e da Tabela 5.

Utilizando a metodologia proposta por Jat, Garg & Khare (2008), em 4.3.4.1 foram comparadas multitemporalmente (1962, 1972, 1986, 1996 e 2006) as taxas de crescimento da população com as taxas de crescimento da superfície impermeabilizada de São Carlos. Este balanço forneceu a informação de espalhamento ou adensamento da superfície impermeabilizada.

A construção de cenários proporciona modelos matemáticos que podem representar o crescimento populacional para as próximas décadas (LÓPEZ *et al.,* 2001). Para a formulação do modelo para São Carlos (4.3.4.2), os anos referentes ao intervalo temporal de 1980 a 2009

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

(variável exploratória) foram relacionados com o número de habitantes (variável resposta) por meio de análise de regressão linear. Desta forma, gerou-se um modelo matemático, o qual foi utilizado para predição do crescimento populacional futuro.

Na sequência, para a formulação de um modelo matemático que estimasse a superfície impermeabilizada futura na forma de cenários, foi utilizada a metodologia proposta por López *et al.* (2001) e Jat, Garg & Khare (2008) já descritas no Capítulo III, Item 3.4.

Neste estudo, por meio de análise de regressão linear, os dados de população dos anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 (variável explanatória), foram relacionados com as métricas das superfícies impermeabilizadas (variável resposta) obtidas por meio de fotografias aéreas e imagens de satélites. Com esta análise, gerou-se um modelo matemático o qual descreve a relação entre o crescimento populacional e o crescimento da superfície impermeabilizada.

Da mesma maneira que López *et al.* (2001), o modelo matemático para a predição da superfície impermeabilizada foi alimentado com os valores preditos anteriormente para o crescimento populacional futuro. Como resultado, foi possível a formulação de cenários futuros que representassem quantitativamente a superfície impermeabilizada.

A normalidade dos dados foi comprovada pela análise dos resíduos, utilizando para tanto o teste de Shapiro Wilk, sendo estabelecido o nível de confiança de 0,05.

Em 4.3.4.3 os dados referentes às vazões utilizadas para fins de abastecimento público da cidade de São Carlos (Tabela 5) foram tabulados e explorados estatisticamente na forma de balanços e comparações multitemporais entre as vazões de retirada de água superficial e subterrânea no período de 1989 a 2009. Este passo permitiu avaliar a evolução do uso de tais fontes e sugerir se o modelo de exploração dos recursos hídricos é baseado no uso e na conservação das fontes superficiais, ou se é baseado nos baixos custos e facilidade de exploração das fontes subterrâneas.

Com estes dados, realizou-se o balanço multitemporal entre o crescimento da população e o crescimento da demanda hídrica. Desta análise foi gerado um indicador, a "demanda *per capta* de água" (Equação 3), o qual mostrou a evolução do consumo *per capta* de água no período de 1989 a 2009, indicando a evolução para um uso racional ou não desse recurso.

$$\text{Demanda hídrica } per\ capta\ (\text{L/hab./dia}) = \frac{[demanda\ anual\ (L/s)*24*60*60]}{população\ urbana} \quad (3)$$

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Em 4.3.8 adotou-se como metodologia algumas etapas de planejamento de bacias hidrográficas adaptadas de Zielinski (2010) mencionadas no Capítulo III, Item 3.4. Desta forma, elaborou-se um mapa, no qual são quantificadas as áreas adequadas para serem urbanizadas, com base no Zoneamento Municipal (SÃO CARLOS, 2005). A seguir, são descritas as etapas para geração desse mapa:

I. Com base no Zoneamento Municipal foram identificadas as zonas adequadas para a expansão urbana (Zonas 1, 2, 3A, 4A e 4B);
II. Dessas zonas, foram removidas as áreas impróprias para expansão urbana descritas adiante no Item 4.3.6.
III. Como resultado, foi obtido um mapa com o saldo das áreas adequadas para serem urbanizadas.

Finalmente, variáveis como crescimento populacional e urbano, qualidade ambiental dos mananciais, uso e a demanda por recursos hídricos para abastecimento público, topografia, geologia, pedologia, hidrografia, infraestruturas, uso e cobertura do solo e trabalhos já realizados no manancial do ribeirão do Feijão foram analisados de maneira integrada, a fim de praticar o planejamento territorial integrado do município, diagnosticando a situação atual (2006) e alternativas futuras, contemplando o Plano Diretor Municipal.

Preliminarmente, o mapeamento do uso e cobertura do solo (4.3.5) foi elaborado com imagens do satélite Alos fornecidas pelo projeto FAPESP 98/10924-3 por meio de classificação supervisionada, sendo utilizado o classificador da Máxima Verossimilhança.

Parte integrante do Plano Diretor de São Carlos, o Zoneamento Municipal define as áreas adequadas e as áreas inadequadas para serem urbanizadas (SÃO CARLOS, 2005). Com os dados do zoneamento, o objetivo do item 4.3.6 foi gerar um mapa que agregue a área já urbanizada (2006) e áreas impróprias para serem urbanizadas, como as áreas compostas por fragmentos florestais, as áreas de APPs de margens de rios, nascentes e com declividades acima de 30% e as áreas constituídas por litologia da Formação Botucatu (Figura 19).

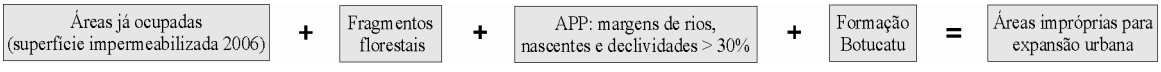


Figura 19. Soma dos mapas das áreas impróprias para o uso urbano.

A superfície impermeabilizada foi obtida do Item 4.3.3.1. Já o tema fragmentos florestais foi extraído do mapa de uso e cobertura do solo, englobando as áreas de vegetação

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

ripária, vegetação de encosta, remanescentes de cerrado e cerradão. As APPs ao longo das margens dos rios e das nascentes foram delimitadas com base no Código Florestal instituído pela Lei 4.771/65 de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), que, no Art. 2° define: (a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água: de 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura; (c) nas nascentes num raio mínimo de 50 metros de largura. Elaborou-se a carta de declividades para as faixas de valores de interesse, neste caso, com base nas restrições sugeridas no Plano Diretor Municipal (SÃO CARLOS, 2005) o qual não autoriza para fins urbanos locais, áreas com declividades superiores a 30%. As áreas de litologia da Formação Botucatu foram extraídas das cartas geológicas (DAEE, 1982), a importância dessa variável se dá por ser área de recarga do Aquífero Guarani apresentando altos índices de permeabilidade, sendo considerada altamente vulnerável a poluição (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991).

Para a avaliação da qualidade ambiental dos mananciais do Feijão e do Monjolinho (5.3.7) foram feitas comparações entre o uso e cobertura do solo nesses mananciais com os IQA obtidos por Tundisi *et al.* (2007) em 12 pontos de amostragens no manancial do ribeirão do Feijão e em um ponto no manancial do rio Monjolinho. Além dessa amostragem, utilizou-se a qualidade da água obtida por Peláez-Rodrígues (2001) por meio de análises na comunidade de macroinvertebrados bentônicos em cinco pontos de amostragens no manancial do ribeirão do Feijão e em um ponto no manancial do rio Monjolinho. Estes cruzamentos subsidiaram análises que relacionam o uso e cobertura do solo e suas consequências na qualidade da água dos rios. Entretanto deve ser atentado que, além de fontes potencialmente poluidoras, oriundas principalmente de produtos utilizados na agricultura, na indústria e na disposição de resíduos, a vulnerabilidade das águas superficiais e subterrâneas também está relacionada com as condições naturais hidrogeológicas, sendo necessários estudos mais aprofundados que correlacionam estas variáveis.

Em 4.3.9, com os resultados alcançados dos Itens 4.3.3 ao 4.3.8 em conjunto com as informações do meio físico levantadas, foi possível tecer análises integradas no Capítulo V que são: (i) Cenários futuros de crescimento populacional; (ii) Análise da dinâmica da mancha urbana de 1962 a 2006; (iii) Avaliação da qualidade ambiental dos mananciais do Feijão e Monjolinho; (iv) Avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos; (v) Análise integrada, cenários, simulações com o Plano Diretor de São Carlos e alternativas futuras.

No Capítulo VI são apresentadas as considerações finais (4.4).

CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados levantados, foi possível proporcionar resultados e análises que relacionam informações pertinentes ao planejamento integrado. Foram analisados o crescimento populacional (1980 – 2009), a dinâmica da mancha urbana (1962 – 2006), as condições ambientais dos mananciais superficiais do Feijão e do Monjolinho e suas vulnerabilidades. Também, foi elaborada uma avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para fins de abastecimento público e, por meio de cenários atuais e futuros, até 2050, foram analisadas de maneira integrada, via Plano Diretor, as variáveis ambientais (topografia, geologia, pedologia, hidrografia, infraestrutura, uso e cobertura do solo, projeção de crescimento populacional e da mancha urbana), a qualidade ambiental dos mananciais superficiais e por fim o modelo de exploração dos recursos hídricos para abastecimento público com exposição de alternativas.

5.1. Cenários futuros de crescimento populacional

As estimativas ora apresentadas contribuirão para a alocação de pessoas de maneira formal, não em locais como os mananciais de abastecimento de água ou expandindo os limites da cidade de forma fragmentada, devendo levar em conta a vulnerabilidade geológica regional, declividades desfavoráveis e áreas de preservação previstas em leis já existentes.

Observa-se, pelos dados censitários de São Carlos, que de 1980 até 2009 (30 anos), a população rural praticamente manteve-se estável, enquanto que a população urbana apresenta um crescimento significativo. Em 2009 a população era de 226.789 habitantes, sendo 96,4% (218.598) concentrados na área urbana e 3,6% (8.191) na zona rural (Figura 20).

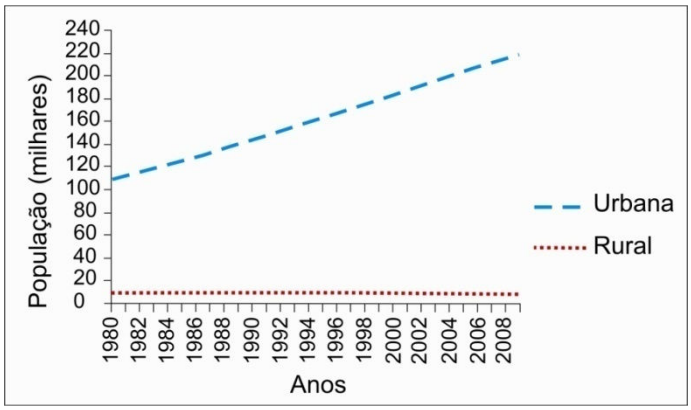


Figura 20. Distribuição da população de São Carlos, SP (Fonte: SEADE, 2010).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Tendo em vista o comportamento urbano da população, os modelos matemáticos podem predizer o crescimento populacional e da superfície impermeabilizada para as próximas décadas (LÓPEZ *et al.,* 2001).

Seguindo a metodologia proposta por López *et al.* (2001), foi utilizada análise estatística de regressão linear para a formulação do modelo matemático que representa o crescimento da população de São Carlos para as próximas décadas (Figura 21).

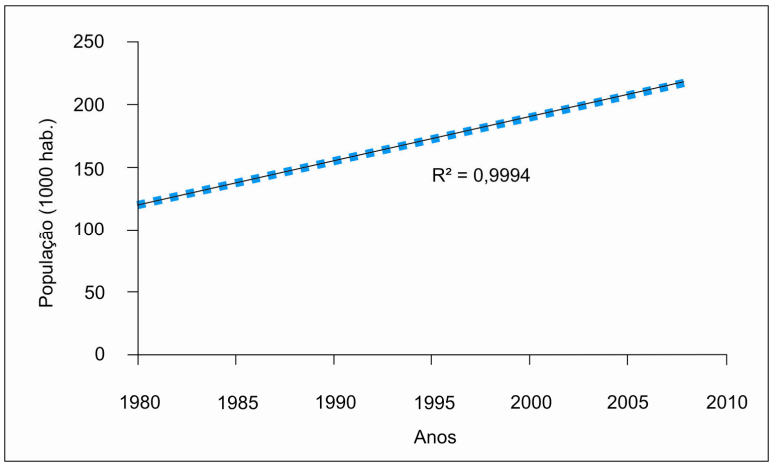


Figura 21. Diagrama de dispersão da população da cidade de São Carlos no período de 1980 a 2009.

Com base na análise de regressão, a Equação 4 foi adotada para a projeção da população da cidade de São Carlos, utilizada adiante[6]:

$$y = 3{,}7917x - 7390{,}6 \qquad (4)$$

Onde y é a população em milhares e x é o ano.

5.2. Análise da dinâmica da mancha urbana de 1962 a 2006

Para a delimitação das manchas urbanas ora caracterizada pela superfície impermeabilizada, foram consideradas as áreas residenciais, comerciais, complexos industriais, incluindo as vias asfaltadas, estradas mercados, etc. conforme proposto por Jat, Garg & Khare (2008).

Este trabalho considera para área urbana um único grau de impermeabilização, porém, o fato é que a permeabilidade é variável, ocorrendo em função do tipo de uso do solo urbano.

[6]A relação entre os anos (variável exploratória) e a população (variável resposta) indica forte correlação positiva entre os dados. A normalidade dos dados foi comprovada por meio da análise dos resíduos, utilizando para tanto o teste de Shapiro Wilk, sendo que o *valor p = 0,1081* foi maior do que o nível de confiança estabelecido de 0,05.

Por exemplo, em loteamentos onde existem maiores restrições ao percentual de área construída por lote, o coeficiente de permeabilidade é maior. A permeabilidade pode ser ainda maior quando são exigidos coeficientes de cobertura vegetal. Para análise, em São Carlos são exigidos coeficientes de cobertura vegetal somente nas áreas de mananciais, no entanto, deveriam ser exigidas em todos os empreendimentos imobiliários, a fim de potencializar a recarga de águas superficiais e subterrâneas.

Pequenas divergências na delimitação das manchas urbanas estão relacionadas com a resolução espacial das fotografias aéreas de 1962 e 1972, com a resolução de 30 metros do sensor TM das imagens do satélite LANDSAT 5 dos anos de 1986 e 1996, e com a resolução de 10 metros do sensor AVNIR-2 do satélite Alos de 2006. Entretanto, essas especificidades não comprometeram a compreensão do comportamento, nem a quantificação da superfície impermeabilizada.

Na Figura 22 é mostrada a mancha urbana da cidade de São Carlos no ano de 1962. De acordo com Lima (2007), principalmente entre as décadas de 1950 e 1960, tornaram-se estratégia do setor imobiliário os investimentos em terrenos periféricos à área urbana consolidada de São Carlos para aguardar sua valorização após a estruturação, constituindo assim, novos loteamentos. Com isso, o mercado imobiliário tornava-se cada vez mais especulativo, sendo um empecilho para a expansão equilibrada e organizada da cidade.

Esses loteamentos são verificados em 1962, nas regiões sudeste, nordeste e noroeste da mancha urbana, visto que já é observada 0,5 Km² de área urbana na bacia hidrográfica do Monjolinho, que segundo SAAE (2010b), desde 1960 é utilizada como manancial de água superficial para fins de abastecimento público (Figura 23).

Embora pudesse comprometer a qualidade da água, pois as águas residuárias de origem doméstica e esgotos não tratados conduzem os corpos hídricos a um processo de eutrofização também aumentando os custos de tratamento de água para abastecimento, esse comportamento era compreensível para a época, pois não se tinha dimensão dos problemas que o avanço da superfície impermeabilizada sobre um manancial poderia causar. Ainda, o Código das Águas de 1934 não previa a preservação de áreas florestadas nas margens dos rios (BRASIL, 1934), essa preocupação só se transformou em lei com a criação em 1965 do Código Florestal. Pode ser verificado também, que nesse ano ainda não havia ocupação no manancial do ribeirão do Feijão.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

LEGENDA

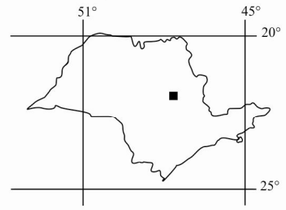
LIMITES
- Mancha urbana - 1962
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

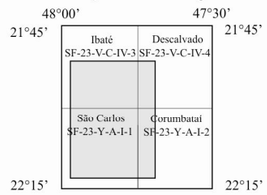
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 22. Mancha urbana no ano de 1962 extraída de fotografias aéreas e bacias hidrográficas utilizadas como mananciais superficiais (adaptado de DUPAS, 2001) – (FIGURA 22).

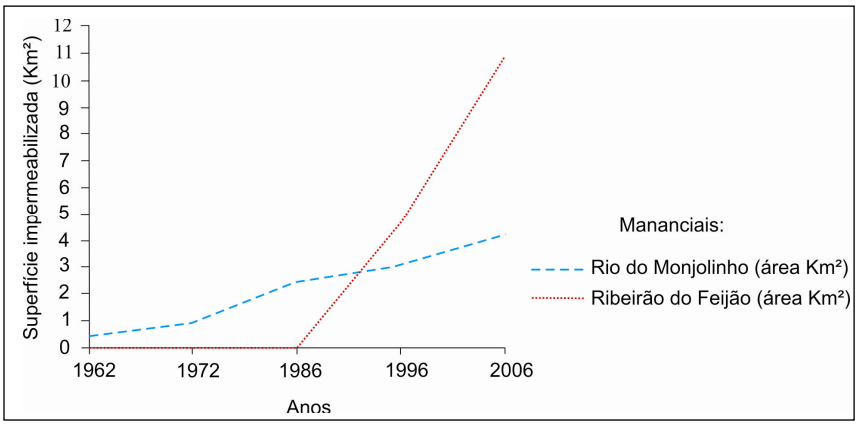


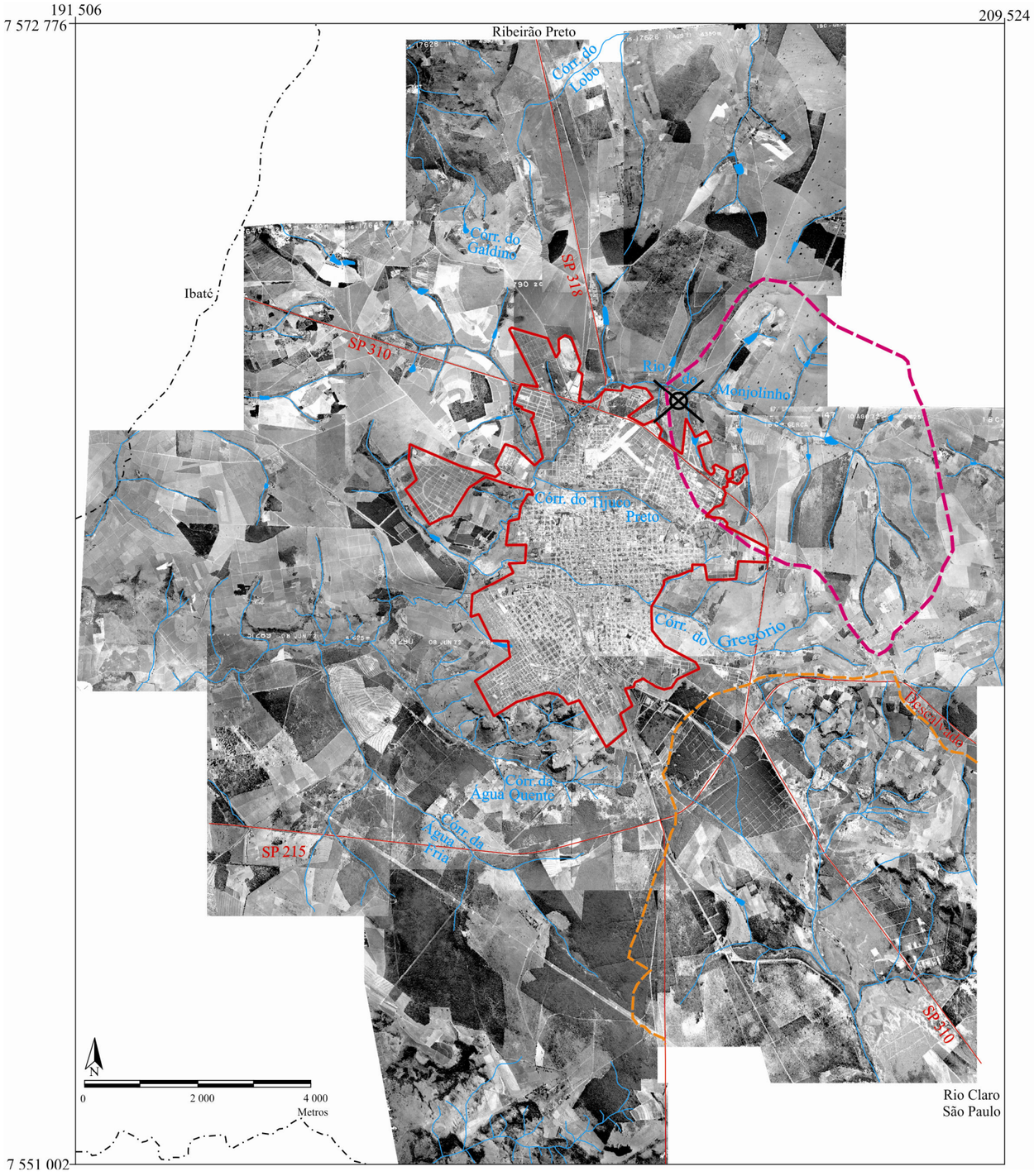
Figura 23. Evolução da superfície impermeabilizada em áreas de mananciais.

Apesar da promulgação do Código Florestal o qual regulamenta as APPs (BRASIL, 1965), em 1962 e 1972 (Figura 24), é verificada a supressão de vegetação ripária em alguns pontos no manancial do Monjolinho, de fato, pela Figura 23, observa-se que a superfície impermeabilizada cresceu de 0,5 em 1962 para 1 Km² em 1972, abrangendo alguns afluentes próximo da captação de água. Também é observado um avanço em direção ao manancial do ribeirão do Feijão, que de acordo com SAAE (2010b) é utilizado para captação de água superficial desde 1971. Evidências de que esse crescimento não foi ambientalmente sustentado, também são comprovadas no desmatamento e ocupação em áreas de nascentes e planícies de inundação dos córregos do Tijuco Preto e do Gregório.

Pela Figura 25, constata-se que em 1986 a superfície impermeabilizada continua avançando sobre o manancial do Monjolinho. A área urbana que era de 1 Km² em 1972 passa a ser de 2,4 Km² em 1986. Na região sudeste da área de estudo, o crescimento chega às bordas do manancial do Feijão. Nas áreas afastadas a noroeste surgem os loteamentos Encontro Valparaíso e Aracê de Santo Antônio e, mais ao norte a Quinta dos Buritis, Vale da Santa Felicidade, Tibaia de São Fernando, apresentando um novo padrão, mais fragmentado.

Em 1996 a superfície impermeabilizada continua crescendo de forma fragmentada, caracterizada pelo aparecimento de novos núcleos urbanos afastados, como os loteamentos Cidade Aracy e Antenor Garcia (sudoeste). A superfície impermeabilizada continua invadindo o manancial do Monjolinho passando de 2,4 Km² em 1986 para 3,1 Km² em 1996. À sudeste já são verificados 4,7 Km² de área urbana (ou superfície impermeabilizada) no manancial do Feijão, com o loteamento Parque Itaipu (sudeste), o Distrito Industrial Miguel Abdelnur, o Centro de Alta Tecnologia Dr. Emílio Fehr e indústrias como a Volkswagen, o que certamente marcou a mudança na qualidade da água do manancial devido ao lançamento de esgotos domésticos e industriais e a poluição difusa carreada pelas águas pluviais (Figura 26).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

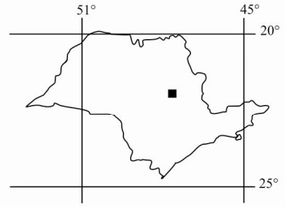
LIMITES
- Mancha urbana - 1972
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

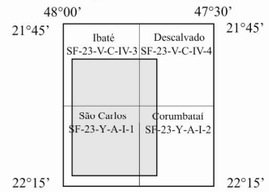
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



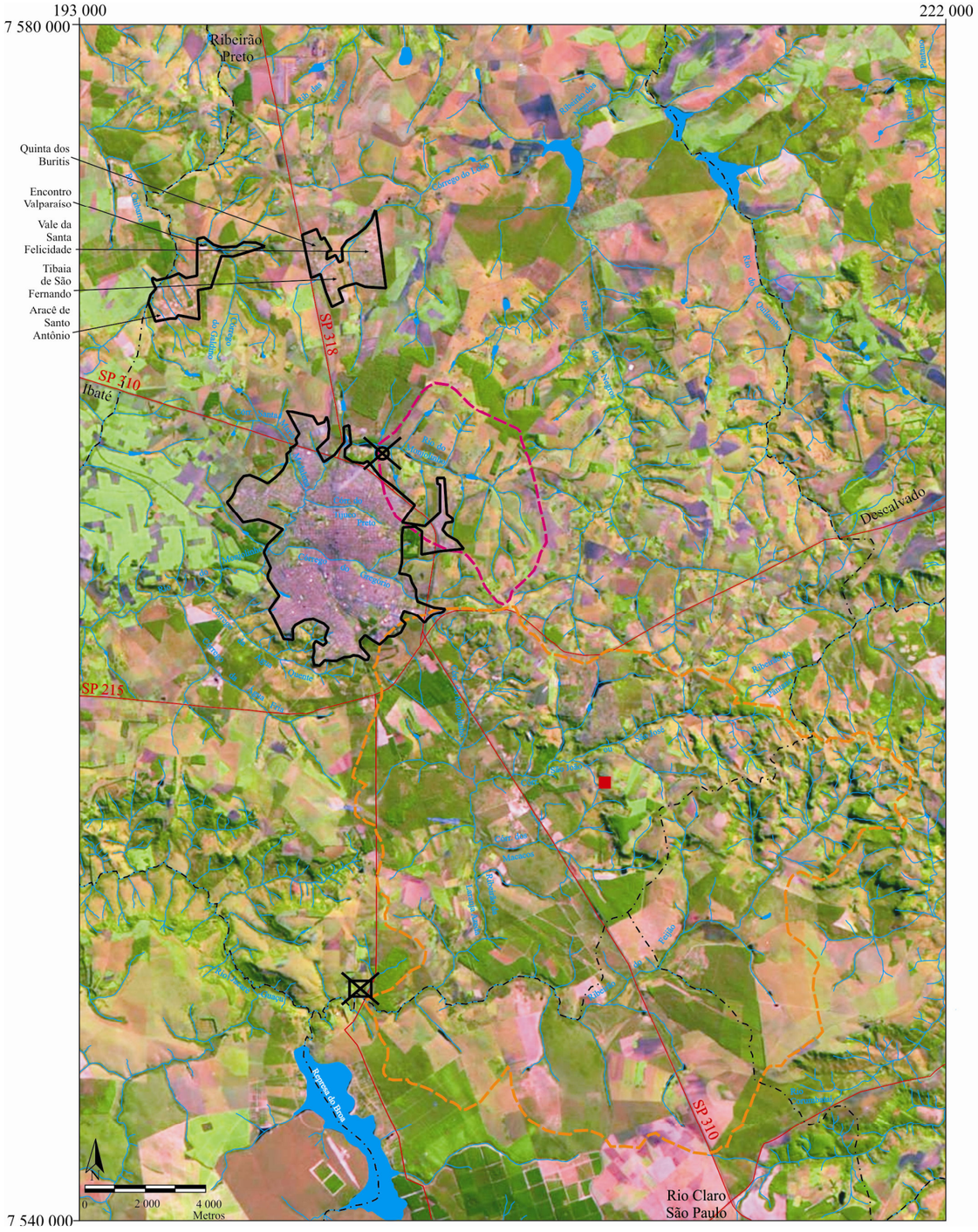
Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 24. Mancha urbana no ano de 1972 extraída de fotografias aéreas e bacias hidrográficas utilizadas como mananciais superficiais (adaptado de DUPAS, 2001) – (FIGURA 24).



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 1986
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

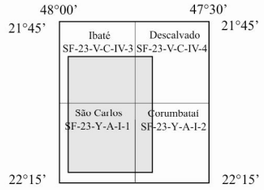
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão

Localização da área no Estado

Articulação da base cartográfica



Divisão administrativa

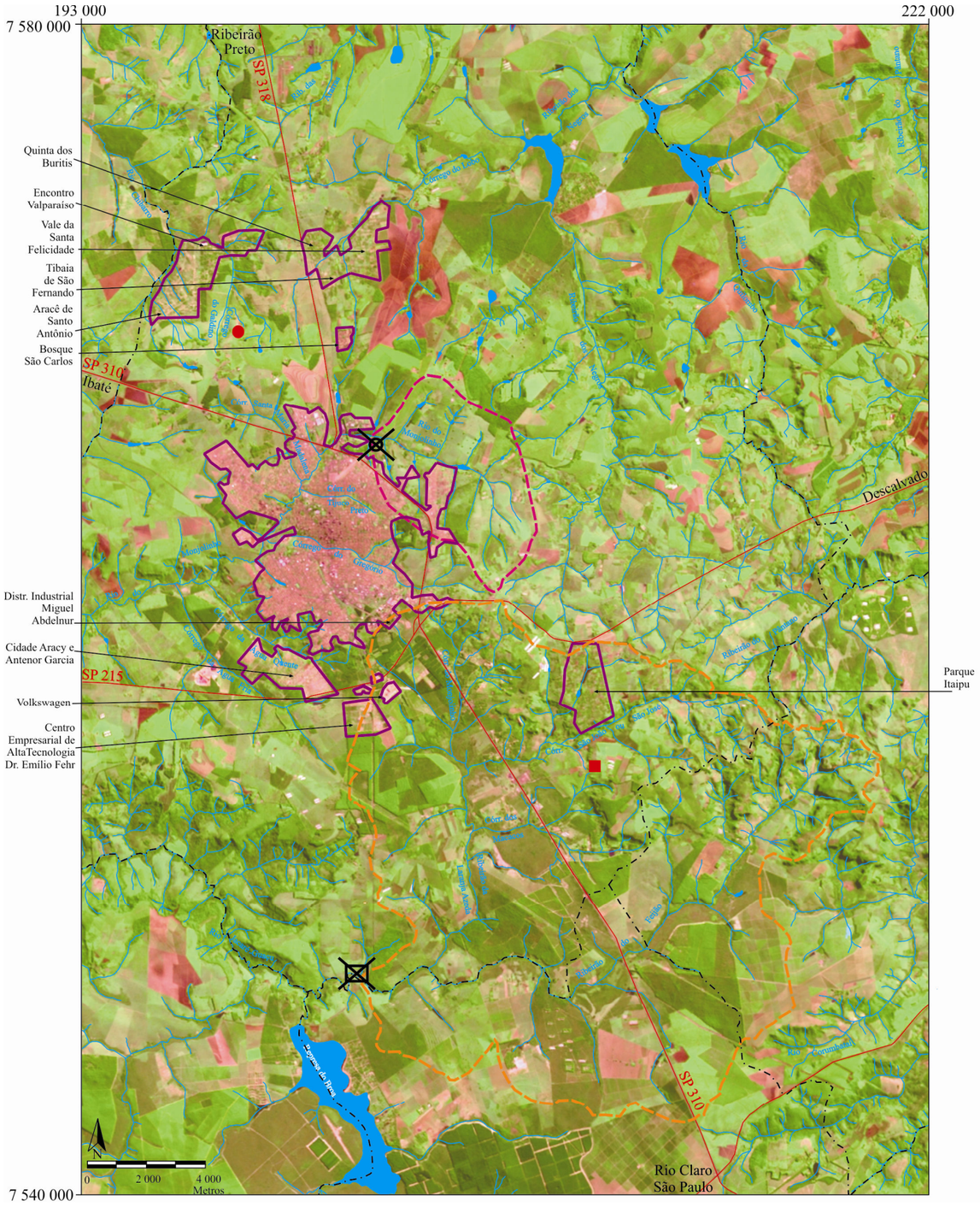
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 25. Delimitação da mancha urbana no ano de 1986 e áreas de mananciais por meio de imagens do satélite LANDSAT 5, composição colorida falsa-cor, bandas 5,4, e 3 – (FIGURA 25).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 1996
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

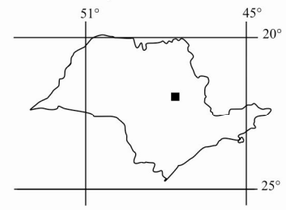
ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CURSOS D'ÁGUA

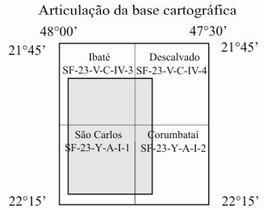
CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 26. Delimitação da mancha urbana no ano de 1996 e áreas de mananciais por meio de imagens do satélite LANDSAT 5, composição colorida falsa-cor, bandas 3,4, e 2 – (FIGURA 26).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Em 2006 a mancha urbana continuou avançando sobre o manancial do Monjolinho constituindo uma área urbana de 4,2 Km². No manancial do Feijão, novos loteamentos surgem próximos a rodovia Washington Luiz (SP 310), incluindo parcelamentos de solo aprovados e registrados como o Recreio Campestre, a Estância Santa Lúcia e o Vale do Uirapuru, e parcelamento clandestino e irregular como o caso da Vila Industrial Aroma (SÃO CARLOS, 2005). Também verifica-se maior concentração industrial próximo ao Centro Empresarial de Alta Tecnologia - CEAT Dr. Emílio Fehr e no Distrito Industrial Miguel Abdelnur, resultando numa área de superfície impermeabilizada de 10,9 Km² neste manancial (Figura 27).

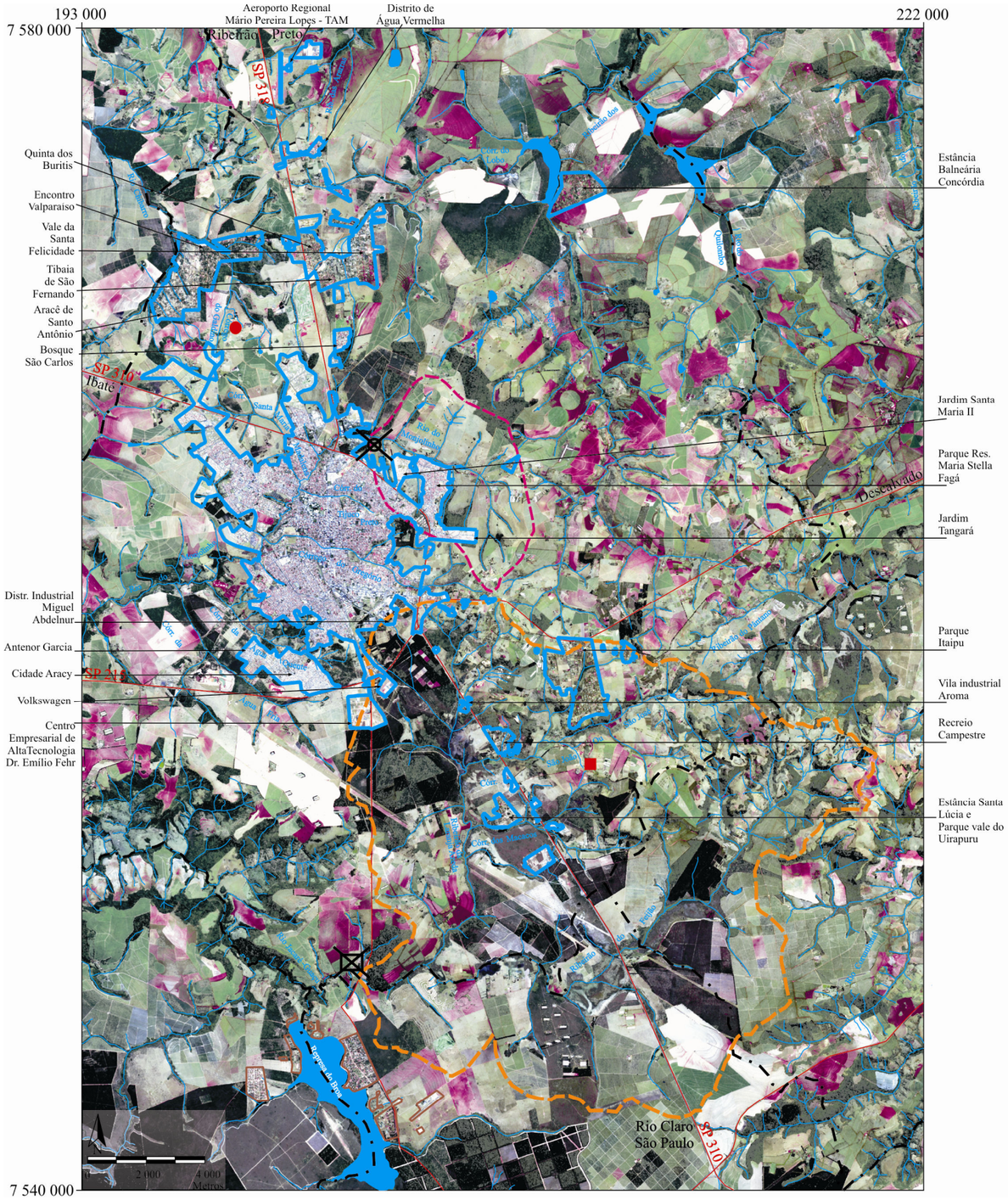
Na Figura 28, é apresentado um resumo de 1962 a 2006 do crescimento de São Carlos. A partir dos vetores de expansão, verifica-se que a superfície impermeabilizada está crescendo dispersa, fragmentada e para dentro dos mananciais, os comprometendo. Novos bairros foram criados sobre o eixo noroeste, leste, oeste e sudeste impulsionado pela facilidade de transporte e especulação imobiliária. Segundo São Carlos (2005) quando da elaboração do Plano Diretor havia nove loteamentos clandestinos e irregulares no município.

No que concerne as áreas de mananciais, pela Figura 23, observa-se que em 1962 aproximadamente 2,6% da mancha urbana situava-se dentro dos mananciais, já em 2006 este percentual subiu para 20,4%, ou seja, em 44 anos a superfície impermeabilizada aumentou 684,6% nas áreas de mananciais. Especificamente no manancial do Feijão houve um aumento significativo a partir de 1986, enquanto que no manancial do Monjolinho a ocupação se manteve num ritmo menos acentuado, até por conta dos altos índices de urbanização já registrados nessa bacia hidrográfica.

5.3. Avaliação da qualidade ambiental dos mananciais do Feijão e do Monjolinho

Todo manancial urbano busca reduzir a distância de captação para que sejam reduzidos os custos com adução. Com o passar dos anos, o avanço da mancha urbana diminui as distâncias e o limite da área urbana, que resulta em aumento dos despejos de suas águas residuárias de origem doméstica e esgotos não tratados na bacia, comprometendo o manancial. Caso não sejam adotadas políticas de prevenção à contaminação, a qualidade da água será reduzida, aumentando os custos com tratamento. Tundisi (2010) exemplifica que o custo para se tratar 1.000m³ pode variar de R$ 2,00 em mananciais onde são preservadas as matas ciliares a R$ 300,00 em mananciais degradados, sendo que os impactos poderão ser mais graves se aprovado o novo Código Florestal que reduz a faixa de mata ciliar.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

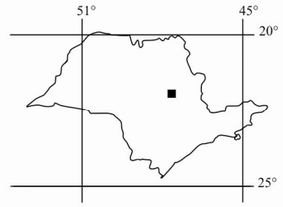
ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CURSOS D'ÁGUA

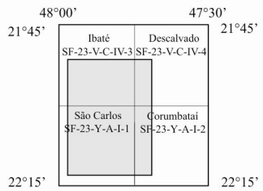
CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



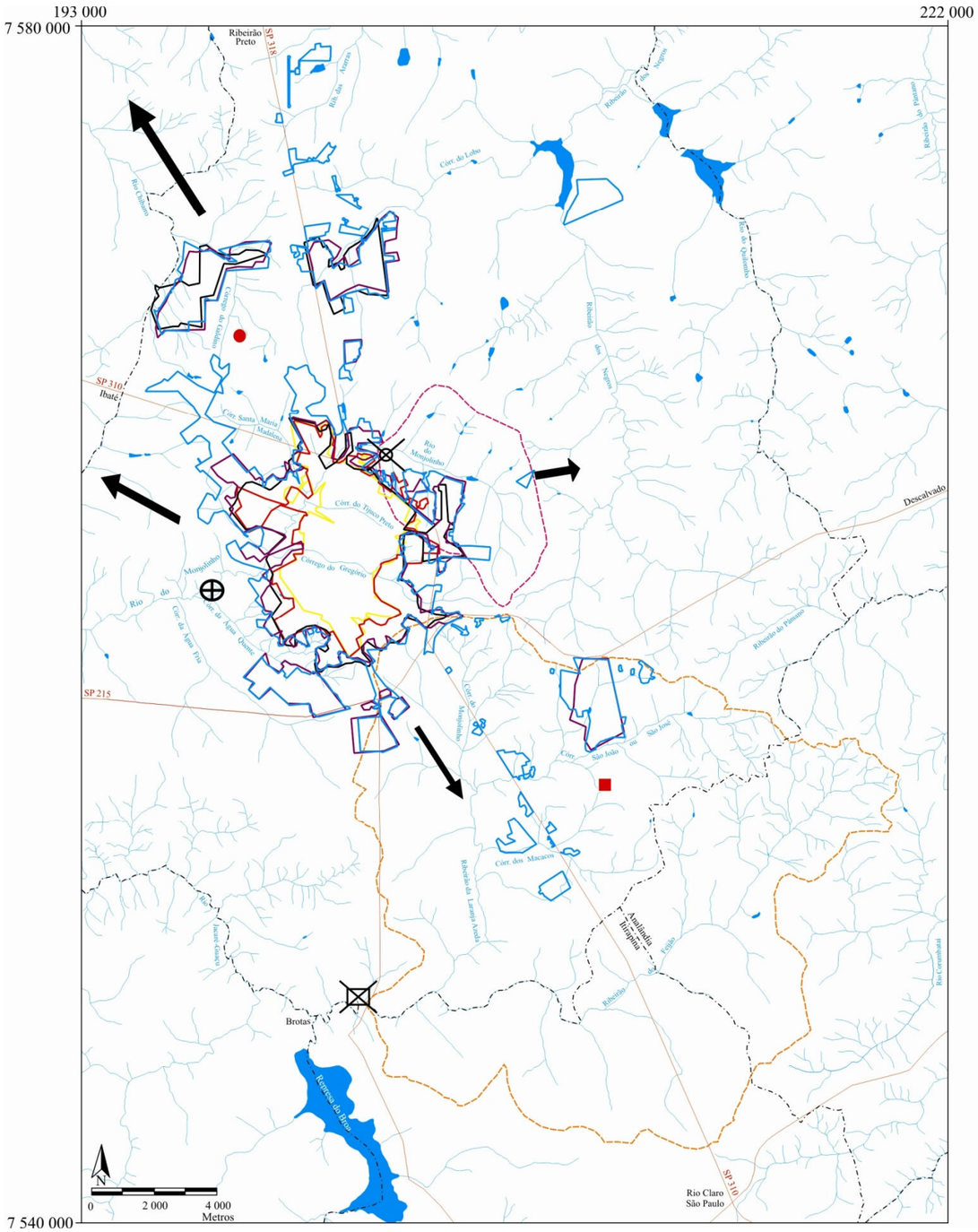
Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 27. Delimitação da mancha urbana no ano de 2006 e de áreas de mananciais por meio de imagens do satélite Alos, composição colorida falsa-cor, bandas 3,2, e 1 – (FIGURA 27).



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 1962
- Mancha urbana - 1972
- Mancha urbana - 1986
- Mancha urbana - 1996
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

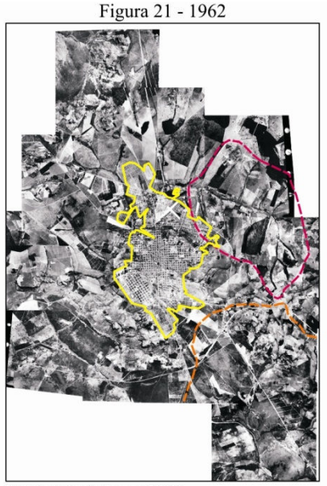
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

ETE

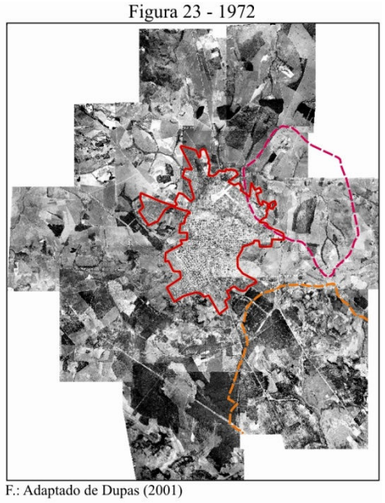
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Figura 21 - 1962



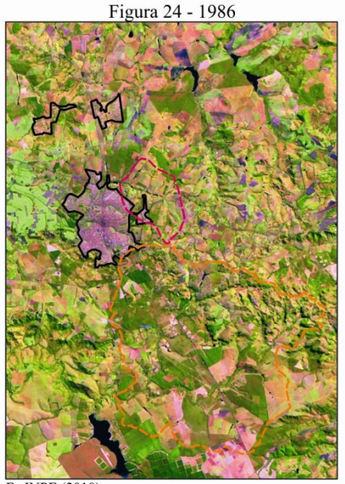
F.: Adaptado de Dupas (2001)

Figura 23 - 1972



F.: Adaptado de Dupas (2001)

Figura 24 - 1986



F.: INPE (2010)

Figura 25 - 1996

F.: INPE (2010)

Figura 26 - 2006

F.: JAXA (2008)

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 28. Evolução da superfície impermeabilizada dos anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 para dentro dos mananciais do Monjolinho e do Feijão – (FIGURA 28).

Segundo SAEE (2010a), em 2009, aproximadamente 51,8% da água utilizada para abastecimento da cidade de São Carlos originava-se de fontes superficiais dos mananciais do Feijão e do Monjolinho, a outra parte, 48,2%, provinha de fontes subterrâneas. No entanto, verifica-se pela Figura 28 que tanto o manancial do Monjolinho como o do Feijão estão localizadas entre os vetores de crescimento da mancha urbana. Além disso, esses mananciais são marcados pelo uso intensivo do solo pelas atividades relacionadas ao agronegócio como a pecuária, cultura de cana-de-açúcar, laranja e reflorestamento. Estes usos necessitam de um significante volume de água e são fontes de poluição. Essas características em conjunto com a fisiografia determinam a quantidade e qualidade da água utilizada para abastecimento público.

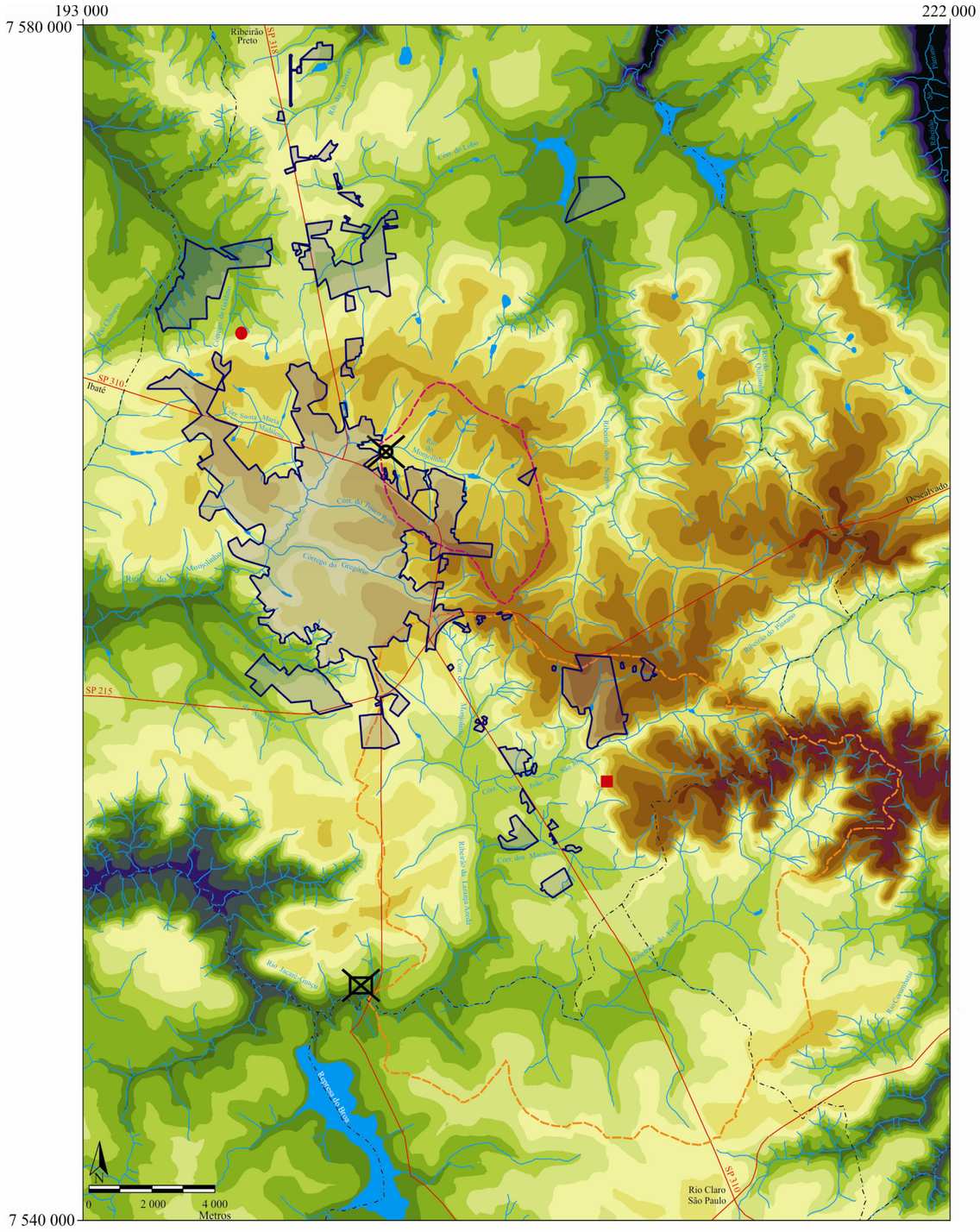
5.3.1. Manancial do ribeirão do Feijão

Grande parte dos 222,7 Km² do manancial do Feijão é constituída por relevo aplainado (Figura 29 e Figura 30) sobreposto por Areias Quartzosas Profundas (Figura 31), onde predominam atividades econômicas relacionadas ao agronegócio (Figura 32) sobrejacente a litologia da Formação Botucatu (Figura 33). Estas características determinam os índices de permeabilidade nessa região, sendo delimitada como zona de recarga direta do Aquífero Guarani, com alta vulnerabilidade à poluição (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991).

No que concerne a cobertura do solo, verifica-se que 78,7% da área da bacia está relacionada às atividades ligadas ao agronegócio, como pastagem 38,7% (86,3 Km²), laranja 13,9% (30,9 Km²), reflorestamento 10,2% (22,8 Km²), solo exposto (preparado para o cultivo) 12,8% (28,5 Km²) e cana-de-açúcar 3,1% (6,8 Km²) (Figura 34 A e B).

Em observações *in loco* e pela Figura 33, verifica-se que as atividades agrícolas como as culturas da laranja, cana-de-açúcar e reflorestamentos ocupam vastas áreas contíguas, isolando e/ou suprimindo os poucos fragmentos florestais existentes, que por sua vez encontram-se distribuídos de forma fragmentada, concentrando grande parte nas bordas dos tabuleiros (cuestas) em áreas de maior declividade, criando pequenas manchas isoladas sem conectividade (Figura 35). Apenas 16,4% (36,5 Km²) do manancial estão cobertos por fragmentos florestais, demonstrando o quanto alterado está essa bacia hidrográfica. Apesar da necessidade de estudos regionais mais refinados, estes valores são baixos, se comparados com aos 65% a 70% de cobertura florestal que devem ser mantidos dentro de uma bacia hidrográfica a fim de se manter a qualidade da água dos rios, propostos por Booth (1991) em estudos realizados nos Estados Unidos. As consequências dessa degeneração florestal são negativas, podendo aumentar o escoamento superficial, reduzir a infiltração e a filtragem.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CURSOS D'ÁGUA

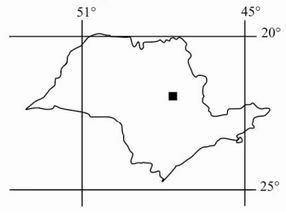
CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

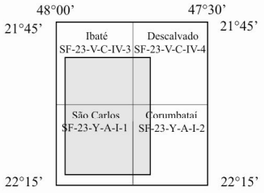
Classes de altitude - metros

580
607
635
662
690
717
745
772
800
827
855
882
910
937
965
992
1 020

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



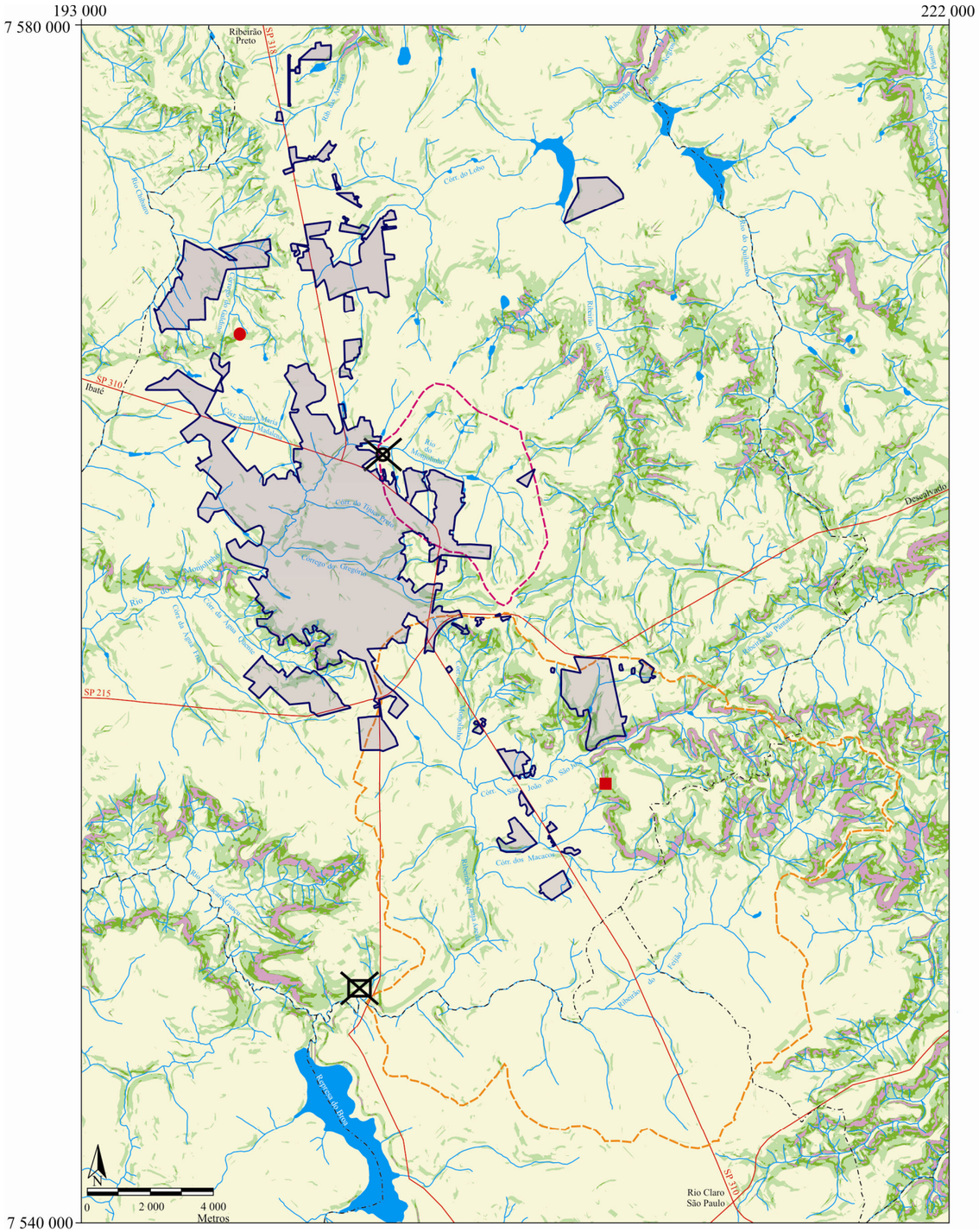
Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 29. Mapa hipsométrico enfatizando a área urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão – (FIGURA 29).



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

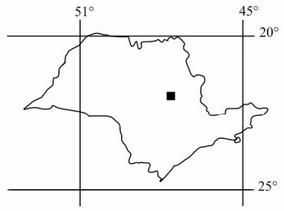
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Classes de declividade	Área Km²	Área %
De 0 a 10%	876,6	75,6
De 10 a 20%	200,9	17,3
De 20 a 30%	53,1	4,6
Acima de 30%	29,4	2,5
Total	1.160	

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica

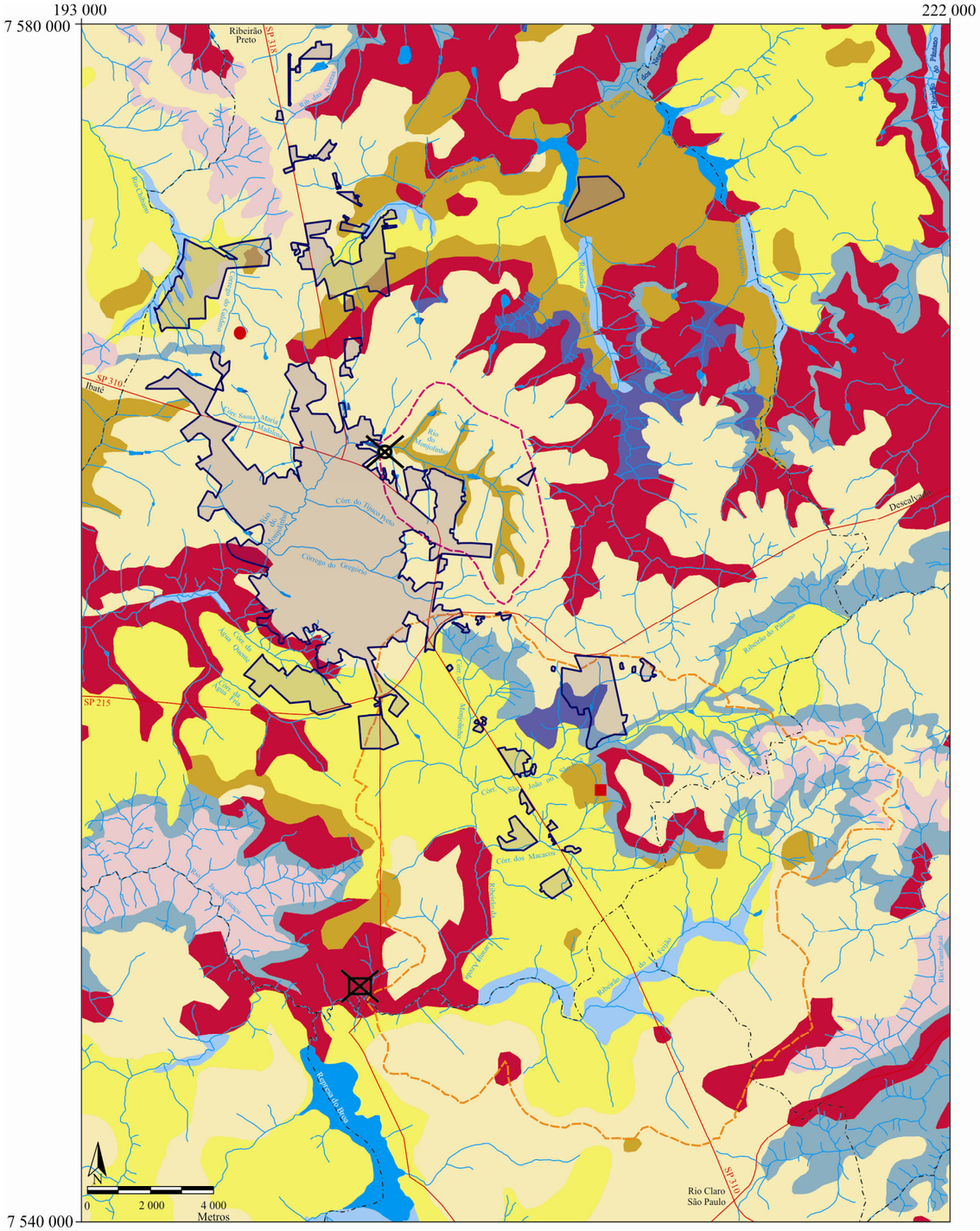
Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 30. Mapa de declividade evidenciando a área urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão – (FIGURA 30).



LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

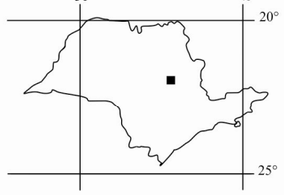
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

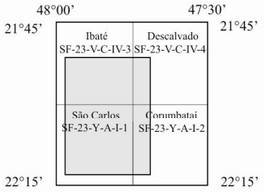
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Tipos de solo:	Área Km²	Área %
Solos hidromórficos	20,3	1,8
Solos litólicos	79,8	6,9
Latossolo roxo	182,2	15,7
Areias quartzosas profundas	282,5	24,3
Latossolo vermelho escuro	76,0	6,5
Latossolo vermelho amarelo	449,4	38,7
Pedzólico vermelho amarelo	55,2	4,8
Terra roxa estruturada	14,6	1,3
Total	1.160	

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 31. Mapa pedológico com a sobreposição da mancha urbana do ano de 2006 e os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão (adaptado de IAC, 1981, 1982) – (FIGURA 31).

LEGENDA

LIMITES
- Mancha urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

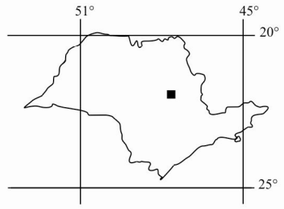
CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

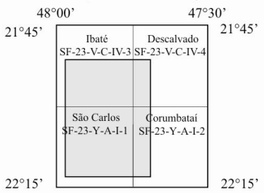
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Classes de cobertura do solo	Área de estudo		Manancial do Monjolinho		Manancial do Feijão	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Fragmentos Florestais	196,5	16,9	2,0	8,3	36,5	16,4
Superfície impermeabilizada	83,9	7,2	4,2	17,4	10,9	4,9
Reflorestamentos	51,4	4,4	0,2	0,9	22,8	10,2
Solos expostos	203,9	17,6	1,8	7,5	28,5	12,8
Pastagens	360,1	31,0	12,2	50,6	86,3	38,7
Cana-de-açucar	96,1	8,3	1,5	6,2	6,8	3,1
Laranja	160,1	13,8	2,2	9,1	30,9	13,9
Água	8,0	0,7	-	-	-	-
TOTAL	1.160		24,1		222,7	

Localização da área no Estado



Articulação da base cartográfica



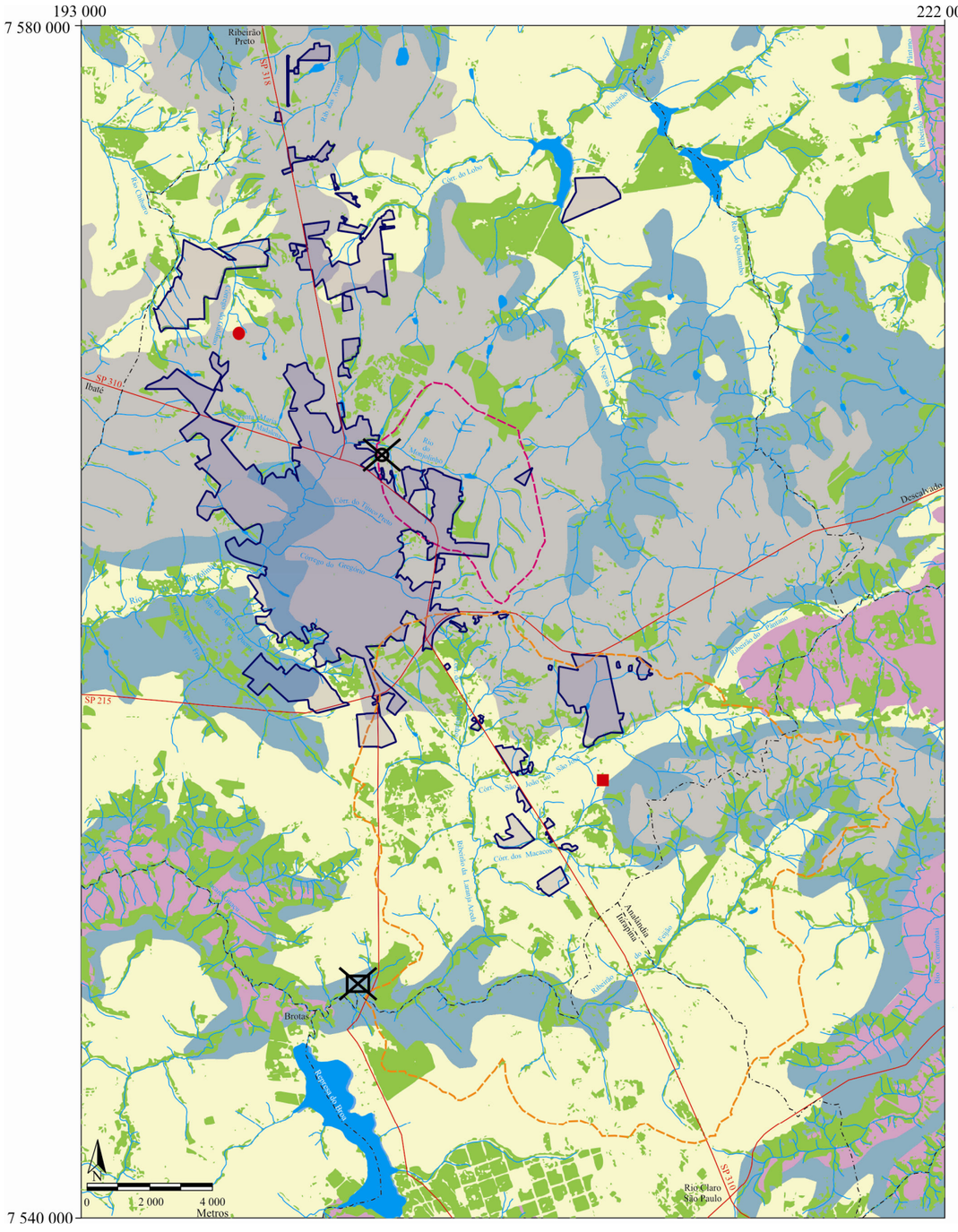
Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 32. Mapa de cobertura do solo elaborado a partir da classificação supervisionada da imagem do satélite Alos de 2006 evidenciando a área urbana e os mananciais do Monjolinho e do Feijão – (FIGURA 32).



LEGENDA

FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Área Km²	Área %
Formação Pirambóia	73,6	6,3
Formação Botucatu	554,8	47,8
Formação Serra Geral	225,7	19,5
Formação Itaqueri	305,9	26,4
Total	1.160	

Fragmentos florestais

LIMITES
- Área urbana - 2006
- Manancial do Monjolinho
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

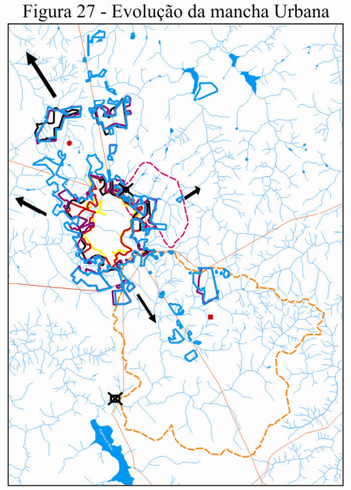
ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

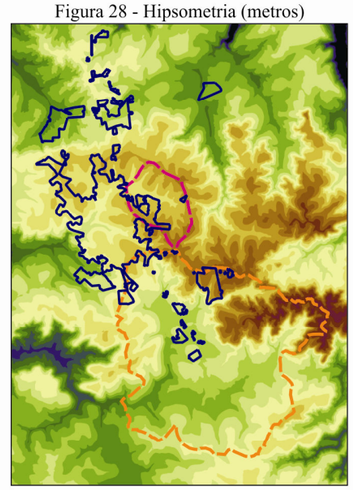
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

Figura 27 - Evolução da mancha Urbana



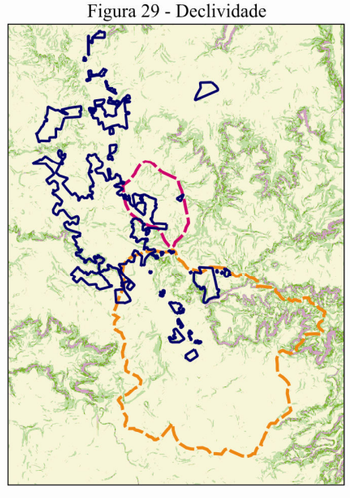
1962
1972
1986
1996
2006

Figura 28 - Hipsometria (metros)



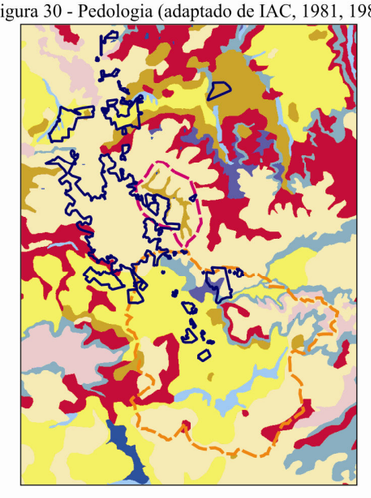
580 607 635 662 690 717 745 772 800
827 855 882 910 937 965 992 1 020

Figura 29 - Declividade



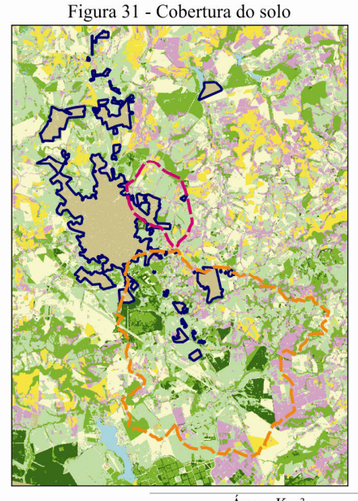
- De 0 a 10%
- De 10 a 20%
- De 20 a 30%
- Acima de 30%

Figura 30 - Pedologia (adaptado de IAC, 1981, 1982)



- Solos hidromórficos
- Solos litólicos
- Latossolo roxo
- Areias quartzosas profundas
- Latossolo vermelho escuro
- Latossolo vermelho amarelo
- Pedzólico vermelho amarelo
- Terra roxa estruturada

Figura 31 - Cobertura do solo



Cobertura do solo	Área - Km² Área de estudo	Monjolinho	Feijão
Fragmentos Florestais	196,5	2,0	36,5
Área urbana	83,9	4,2	10,9
Reflorestamentos	51,4	0,2	22,8
Solos expostos	203,9	1,8	28,5
Pastagens	360,1	12,2	86,3
Cana-de-açucar	96,1	1,5	6,8
Laranja	160,1	2,2	30,9
Água	8,0	-	-
TOTAL	1.160	24,1	222,7

Figura 33. Mapa síntese da área de estudo – (FIGURA 33).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

LEGENDA

LIMITES
- Manancial do ribeirão do Feijão
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Ribeirão do Feijão

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão

PONTOS DE AMOSTRAGEM (adaptado de TUNDISI *et al*., 2007)

QUALIDADE DA ÁGUA (Adaptado de PELÁEZ-RODRÍGUES, 2001)
- Água não poluída
- Moderadamente poluída
- Muito poluída
- Fortemente poluída

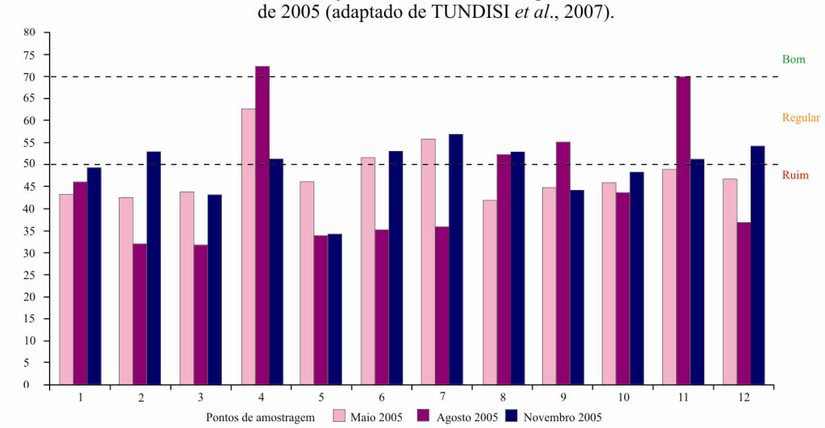
Chuvas / Estiagem

B

Classes de cobertura do solo	Km²	%
Fragmentos Florestais	36,5	16,4
Superfície impermeabilizada	10,9	4,9
Reflorestamentos	22,8	10,2
Solos expostos	28,5	12,8
Pastagens	86,3	38,7
Cana-de-açucar	6,8	3,1
Laranja	30,9	13,9
TOTAL	222,7	

C

Valores de IQA obtidos nos 12 pontos de amostragem na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão nos meses de maio, agosto e novembro de 2005 (adaptado de TUNDISI *et al*., 2007).



Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH

Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 34. (A) Mapa de cobertura do solo do manancial do Feijão e pontos de amostragens da qualidade da água, (B) área das classes de cobertura do solo, (C) valores de IQA – (FIGURA 34).

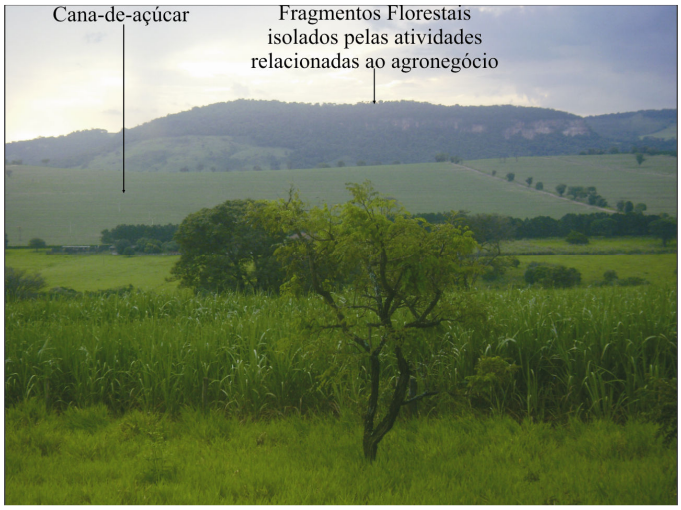


Figura 35. Atividades relacionadas ao agronegócio suprimindo áreas de cobertura vegetal.

Quanto à vegetação ripária, verifica-se que em 2006, dos 16,3 Km² previstos de serem mantidos ao longo das margens dos rios em todo manancial pelo Código Florestal, restam apenas 5,5 Km², ou 33,7%. Este resultado, embora necessite estudos locais para verificação das variáveis que influenciam a qualidade da água, permite comparações com o estudo de Schoonover, Pan & Lockaby (2005) realizado nos Estados Unidos, o qual sugere que a qualidade da água dos rios aumenta quando as matas ciliares cobrem pelo menos de 50 a 75% do comprimento dos canais. De fato, pode ser observado *in situ* (Figura 36) que muitas planícies de inundação ou áreas alagadiças que deveriam ser formadas por vegetação ripária estão ocupadas por pastagens. Além disso, em muitos casos, observa-se a retirada de água dos rios para irrigação sem a devida avaliação técnica, o que configura risco quanto à ocorrência de superexploração dos recursos hídricos em área de manancial (Figura 37).

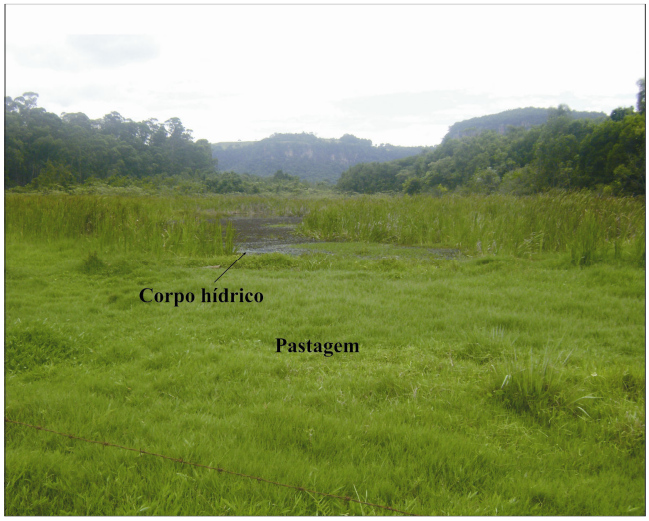


Figura 36. Planície de inundação ocupada com pastagem.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Figura 37. Retirada de água para irrigação.

Além da poluição difusa, com transferência de nutrientes e poluentes para os rios e águas subterrâneas, os impactos da agricultura na estrutura do solo podem aumentar as taxas de escoamento superficial, reduzir a capacidade de armazenamento de água, a infiltração e a recarga dos aquíferos. Esta situação se agrava no caso da pastagem intensiva de gado o que podem ser traduzidos em danos à qualidade da água (WEATHERHEAD & HOWDEN, 2009).

Zuquette, Palma & Pejon (2006) enfatizam que apesar da homogeneidade dos materiais inconsolidados da Formação Botucatu, a infiltração varia regionalmente de acordo com o uso e cobertura do solo e o ciclo da cultura. Na bacia, somando as culturas consideradas de ciclo longo, como a Laranja, pastagem, reflorestamento e cana-de-açúcar, resultam em 65,9% da área do manancial. Isso demonstra que a maior parte da bacia é ocupada por uso inadequado, considerando as taxas de infiltração. Certamente que, para manutenção do manancial, a forma de uso do solo da bacia deve ser reconsiderada.

Tavanti *et al.* (2009) salienta que algumas influências negativas dos agrotóxicos e adubos químicos se dão de forma gradativa, seja pelo uso da água considerada potável ou,

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

pelo efeito cumulativo pela transferência de pequenas quantidades ao longo de cadeias alimentares, podendo causar efeitos adversos ao sistema nervoso, ter ação imunodepressora ou ser cancerígeno, entre outros. Os inseticidas representam o maior impacto ambiental, especialmente na cultura da cana-de-açúcar, pois são aplicados diretamente no solo.

Neste sentido, a aplicação de práticas conservacionistas principalmente a restauração dos corredores de vegetação ripária, a construção de zonas úmidas e o plantio em contorno reduziriam a quantidade de escoamento superficial e os processo erosivos, retendo nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, prevenindo contra a lixiviação pela água da chuva que os carrearia diretamente para os rios, contribuindo também como filtros de águas subterrâneas, controlando parcialmente os efeitos da poluição difusa. Os corredores de vegetação também ajudariam a manter ou aumentar a conectividade entre bacias hidrográficas e suas zonas úmidas, recuperando a heterogeneidade da paisagem e a biodiversidade (CWP, 2003; TUNDISI *et al.,* 2007; MORENO-MATEOS & COMIN, 2010; PAES *et al.,* 2010).

Com relação ao uso do solo para fins urbanos, verifica-se que em 2006 a bacia possuía aproximadamente 4,9% (10,9 Km²) de superfície impermeabilizada, o que ainda está dentro do limite, se comparados com os limiares de 10 a 15% os quais a saúde dos rios tem um declínio verificado em estudos realizados nos Estados Unidos, contudo, aqui, tais limiares são utilizados somente como grandezas não descartando a necessidade de estudos regionais específicos (SCHUELER, 1994; WANG, LYONS & KANEHL, 2001; CONWAY & LATHROPET, 2005; SCHOONOVER, PAN & LOCKABY, 2005; MCCARTHY, 2007; BELLUCCI, BEAUCHENE & BECKER, 2009; RANDHIR & EKNESS, 2009; SCHUELER, FRALEY-MCNEAL & CAPPIELLA, 2009; ZIELINSKI, 2010). Entretanto, em uma escala mais refinada, a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Laranja Azeda à oeste da bacia do Feijão apresenta 10,7% de sua área coberta pela superfície impermeabilizada, potencializando a poluição difusa comprometendo a qualidade da água (Figura 34).

As consequências do uso e cobertura do solo são verificadas na comprometida qualidade da água subterrânea e dos rios que compõem esse manancial. Na Figura 34 (A e C), são apresentados os 12 pontos de amostragem obtidos em 2005 por Tundisi *et al.* (2007) e o resultado do IQA. Na Figura 34 (A) são mostrados os resultados obtidos por Peláez-Rodrígues (2001) em cinco pontos de amostragem para determinação da qualidade da água por meio de análise na comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Pelos resultados obtidos de Tundisi *et al.* (2007) verifica-se que a maioria dos corpos hídricos apresentou valores de IQA "ruim" a "regular". No mês de maio, somente quatro pontos de amostragem (4, 6, 7 e 11) atingiram o nível regular; no mês de agosto os pontos 4 e 11 atingiram um nível "bom" e os pontos 8 e 9 "regular"; no mês de novembro quando começa a época de chuvas, oito pontos (1, 2, 4, 6, 7, 8, 11 e 12) apresentaram um nível considerado "regular". Os resultados da qualidade da água obtida por Peláez-Rodrígues (2001) sugerem que os rios que sofrem influência da superfície impermeabilizada são os que apresentaram piores índices, desta forma, o córrego São João ou São José e o ribeirão Laranja Azeda apresentaram os piores índices, variando de "moderadamente poluídos" a "fortemente poluídos". A situação também é grave junto a captação de água do ribeirão do Feijão, neste ponto a água foi considerada "muito poluída". Corroborando, pelos resultados de Tundisi *et al.* (2007), verifica-se que no período chuvoso, a qualidade da água decresce nos pontos que sofrem influencia da superfície impermeabilizada (4, 5, 9) quando há maior volume de poluição difusa transportada pelas águas pluviais (Figura 34 A e C).

Os impactos da percolação de resíduos do antigo lixão da cidade de São Carlos são verificados, comparando sua localização no mapa com os pontos de amostragem 4 (montante) e 5 (jusante) obtidos por Tundisi *et al.* (2007). Graficamente identifica-se a categoria "bom" no ponto 4, localizado a montante do lixão, já no ponto 5 a jusante do lixão, identifica-se a categoria "ruim" (Figura 34 A e C). Ainda, segundo Frésca (2007), não houve qualquer critério ou preocupação ambiental para a escolha da área do lixão, sendo os resíduos depositados a céu aberto. A partir de 1988 o lixão foi transformado em aterro controlado, sendo os resíduos recobertos com terra sem que houvesse preocupação com o tratamento dos gases e com a coleta do chorume.

Deve-se destacar que parte dos impactos negativos verificados na qualidade da água desse manancial se deve a rodovia Washington Luís (SP 310) que corta toda a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão na direção sudeste/noroeste provocando poluição difusa, principalmente por poluentes como metais pesados presentes em tintas, combustíveis, óleo de motor e graxa usados em veículos, além de poluição atmosférica. Além disso, não há qualquer plano de emergência que possa minimizar os impactos de um possível acidente envolvendo cargas perigosas que possam comprometer a qualidade da água distribuída para a população, sinalizando total descaso por parte do poder público dos municípios de São Carlos, Itirapina e Analândia.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Em síntese, os resultados desta análise sugerem que os usos diversificados e intensivos do solo provavelmente estão diretamente relacionados com a qualidade da água subterrânea e dos corpos hídricos amostrados. Verifica-se que a combinação nesse manancial de grandes áreas ocupadas com atividades relacionadas ao agronegócio, baixo índice de cobertura florestal e de vegetação ripária; áreas com superfície impermeabilizada; disposição de resíduos sólidos em local inapropriado e a proximidade de importante corredor de transporte, reduzem a qualidade da água superficial subterrânea desse manancial.

Segundo Tundisi *et al.* (2007) e Zuquette, Palma & Pejon (2009) as políticas públicas para manter o manancial devem ser dirigidas para conter o processo de degradação dos usos do solo e da qualidade da água, devendo ser centrada na gestão das áreas de agricultura intensiva, especialmente as pastagens, pois apresentam baixos índices de infiltração da água, e na recuperação da cobertura vegetal com espécies nativas: matas ciliares, mosaicos de vegetação. Todos estes componentes naturais têm um papel fundamental na filtragem, reciclagem de nutrientes inorgânicos e no transporte de material em suspensão para os rios.

Neste caso, segundo Dupas (2001), esse manancial tem grande importância estratégica para o município de São Carlos e demais municípios vizinhos. No caso de São Carlos, trata-se de um manancial com infraestrutura já instalada, porém, dos 1.600 L/s de capacidade do manancial, o sistema existente está extraindo somente 246,3 L/s, havendo, portanto, uma sobra de 1.353,7 L/s. Além do que, esse manancial pode ser integrado a bacia do Itaqueri (represa do Broa) em um grande complexo supridor de água para a região. Com efeito, para que seja aproveitado o sistema já construído, o município de São Carlos deverá negociar com os municípios vizinhos (Brotas e Itirapina) a conservação desse manancial, prevendo a transposição simples por canal entre Itaqueri até a casa de bombas do Feijão. Caso os municípios de Brotas e Itirapina, onde estão localizadas suas nascentes, não trabalhem objetivando interesses comuns, o município de São Carlos e os demais referidos poderão enfrentar sérias dificuldades futuras de abastecimento.

5.3.2. Manancial do rio Monjolinho

A cobertura do solo dessa sub-bacia está relacionada aos usos para fins urbanos e ao agronegócio, verifica-se que dos 24,1 Km² desse manancial, 50,6% (12,2 Km²) é composto por pastagens, 17,4% (4,2 Km²) por superfície impermeabilizada, 9,1% (2,2 Km²) por laranja, 8,3% (2 Km²) de fragmentos florestais, 7,5% (1,8 Km²) por solo exposto, 6,2% (1,5 Km²) por cana-de-açúcar e 0,9% (0,2 Km²) é composto por áreas de reflorestamento (Figura 38 A e B).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

LEGENDA

LIMITES
- Manancial do rio do Monjolinho
- Intermunicipal

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz

CURSOS D'ÁGUA

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho

PONTOS DE AMOSTRAGEM
(adaptado de TUNDISI *et al.,* 2007)

QUALIDADE DA ÁGUA
(Adaptado de PELÁEZ-RODRÍGUES, 2001)
- Água não poluída
- Moderadamente poluída
- Muito poluída
- Fortemente poluída

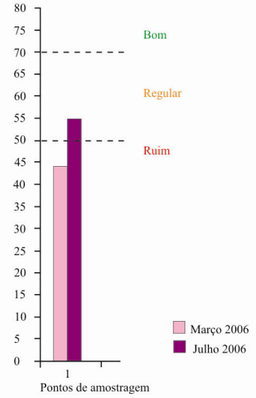
Chuvas
Estiagem

B

Classes de cobertura do solo	Km²	%
Fragmentos Florestais	2,0	8,3
Superfície impermeabilizada	4,2	17,4
Reflorestamentos	0,2	0,9
Solos expostos	1,8	7,5
Pastagens	12,2	50,6
Cana-de-açucar	1,5	6,2
Laranja	2,2	9,1
TOTAL	24,1	

C

Valores de IQA obtidos em um ponto de amostragem no manancial do rio do Monjolinho nos meses de março e julho de 2006 (adaptado de TUNDISI *et al.*, 2007).



Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 38. (A) Mapa de uso do solo do manancial do Monjolinho e pontos de amostragens da qualidade da água, (B) área das classes de uso do solo, (C) valores de IQA – FIGURA 38.

Deve-se atentar que, em 2006, 74,3% da área desse manancial era destinada a atividades relacionadas ao agronegócio (pastagens, laranja, solos preparados para cultivo, cana-de-açúcar e reflorestamento). Quase a metade da área é coberta com pastagem intensiva de gado, o que pode indicar poluição difusa, bem como diminuição da taxa de infiltração, traduzindo em danos à qualidade da água.

Quanto ao uso do solo para fins urbanos, observa-se que 17,4% (4,2 Km²) do manancial é de superfície impermeabilizada. Da mesma maneira que na bacia do Feijão, comparando estes valores com os limiares de 10 a 15% os quais a saúde dos rios tem um declínio, visto na bibliografia citada em estudos realizados nos Estados Unidos, essa bacia hidrográfica pode ser considerada impactada.

Considerando a cobertura florestal como outro indicador da qualidade ambiental do manancial, foi constatado que restam apenas 8,3% (2 Km²). Embora existam especificidades locais que devam ser estudadas, esses valores estão muito abaixo dos 65% de cobertura florestal propostos nas referencias já citadas em estudos realizados nos Estados Unidos, que devem ser mantidos dentro de uma bacia hidrográfica, a fim de se manter a qualidade dos rios.

A situação é mais preocupante com relação à mata ciliar, dos 1,9 Km² previstos para serem preservados pelo Código Florestal, verifica-se que restam apenas 25,8% (0,5 Km²). Embora a quantidade de vegetação ripária não necessariamente se traduz em conservação da qualidade da água, sendo necessários estudos locais complementares, verifica-se que esse déficit pode contribuir para redução da quantidade e da qualidade da água desse manancial.

As nascentes desse manancial são alimentadas pelo aquífero livre Itaqueri, por meio do contato inferior dos sedimentos com as rochas basálticas. Embora sejam necessários estudos regionais mais aprofundados que consideram a influência de outros usos do solo na qualidade da água, os valores do IQA resultantes de Tundisi *et al.* (2007), "ruim" no mês de março de 2006 e "regular" no mês de julho do mesmo ano, sugerem influência da superfície impermeabilizada, alterando a qualidade da água no período chuvoso quando há maior volume de poluição difusa transportada pelas águas pluviais. A qualidade da água apresentada por Peláez-Rodrígues (2001) de "fortemente poluída" em épocas de chuva e "muito poluída" na estiagem, podem reforçar a influência da superfície impermeabilizada, apontando tendências de degradação do sistema aquático (Figura 38 A, B e C).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

5.4. Avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos

Pela Figura 29 constata-se que a cidade de São Carlos está localizada sobre um planalto caracterizado pelas maiores altitudes. As menores altitudes estão localizadas ao sul e ao norte da área de estudo. Especificamente, no manancial do Feijão, áreas com maiores altitudes estão localizadas no planalto ao norte da bacia hidrográfica, onde é encontrada a maioria das nascentes, as quais juntamente com o fluxo subsuperficial irão compor o ribeirão do Feijão. Na sua hidrografia verifica-se considerável número de rios de importância regional, como o rio do Monjolinho e o ribeirão do Feijão ao sul, que são afluentes do rio Jacaré-Guaçu e ao norte, são afluentes do rio Mogi-Guaçu o ribeirão dos negros, o córrego do Lobo, o córrego do Galdino e o rio Chibarro.

Com vistas a proteger os mananciais de águas superficiais e subterrâneas, em 28 de novembro de 1997 é promulgada a Lei Estadual de Proteção dos Mananciais que dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas que servem como mananciais para abastecimento do Estado de São Paulo. Segundo esta lei, as águas dos mananciais são prioritárias para o abastecimento público em detrimento de qualquer outro interesse (SÃO PAULO, 1997).

Para Tucci (2008) os Planos Diretores Municipais seriam elementos importantes, que, articulados com essa lei, proibiriam o uso do solo urbano que possa comprometer a qualidade da água de abastecimento. No entanto, apesar de previsto desde 2001 com a promulgação do Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), o Plano Diretor do Município de São Carlos somente foi aprovado em 25 de novembro de 2005, por meio da Lei Municipal N° 13.691 (SÃO CARLOS, 2005). A partir dessa lei, as bacias hidrográficas do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão são consideradas áreas de proteção e recuperação dos mananciais, apresentando restrições ao crescimento urbano, o que deveria conter o crescimento da mancha urbana nessas áreas.

A ausência de controle de poluição e o aumento da exploração de água subterrânea são preocupantes, pois grande parte dos municípios do Estado de São Paulo já são totalmente ou parcialmente abastecidos por fontes subterrâneas provenientes de grandes aquíferos como o Guarani[7], o que pode gerar uma superexploração com consequências graves como o

[7] Durante levantamento das fontes de abastecimento das cidades do Estado de São Paulo, a Cetesb constatou que mais de 70% dos municípios são abastecidos totalmente por águas subterrâneas e que outros 154, o são parcialmente. Cidades como: Ribeirão Preto, São José dos Campos, São José do Rio Preto, Bauru, Marília, Catanduva e São Carlos utilizam-se de poços tubulares profundos (ABAS, 2005). Cidades como Ribeirão Preto

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

rebaixamento do nível potenciométrico, e consequentemente, a redução de água superficial. Como agravante, segundo ANA (2007), ainda são controversos os cálculos das reservas explotáveis dos aquíferos, assim como os impactos exercidos nas regiões de recarga.

Em 1989 o sistema de abastecimento público da cidade de São Carlos contava com três captações de água superficial, a do ribeirão do Galdino, a do ribeirão do Feijão e a do rio do Monjolinho, juntas, estas captações correspondiam por 91,4% da demanda hídrica total. Já as águas subterrâneas, eram retiradas em 10 poços profundos no Arenito Botucatu, correspondendo a 8,6% da demanda (Tabela 6 e Figura 39).

Tabela 6. Dados referentes à origem e demanda por recursos hídricos da cidade de São Carlos, SP. Fonte: SAAE (2010a), *SAAE (1989, *apud* Dupas, 2001).

Ano	População	Dados	Captações de água superficial			Total de água superficial	Total de água subterrânea	Total	Consumo *Per capta* L/hab.dia
			Ribeirão Galdino	Ribeirão Feijão	Rio Monjolinho				
1989*	150.027	N° poços	-	-	-	-	10	650	374,3
		Vazão (l/s)	50	364	180	594	56		
		%	7,7	56	27,7	91,4	8,6		
1999	188.845	N° poços	-	-	-	-	22	761,5	348,4
		Vazão (l/s)	-	193,7	216,5	410,2	351,3		
		%	-	25,4	28,4	53,9	46,1		
2009	226.789	N° poços	-	-	-	-	21	911,4	347,2
		Vazão (l/s)	-	246,3	225,9	472.3	439,2		
		%	-	27,0	24,8	51,8	48,2		

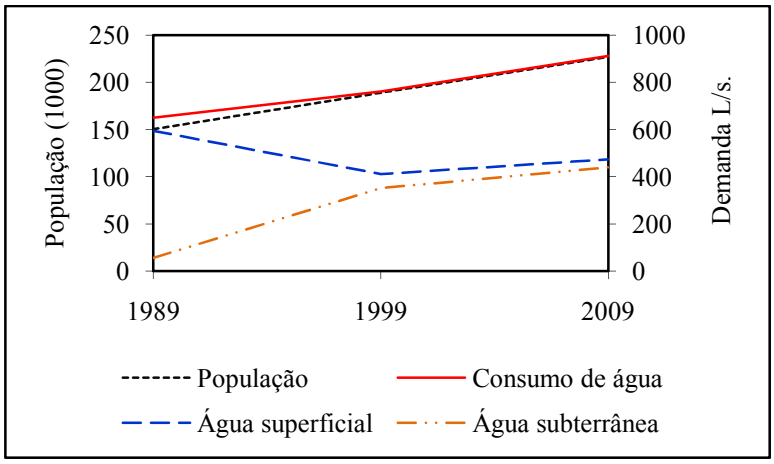


Figura 39. Modelo de exploração e uso de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

já sofrem com rebaixamento do nível potenciométrico de 15 a 25 metros em algumas áreas (DAEE, 2003). Segundo ABAS (2001, *apud* Dupas, 2001), o mesmo acontece com Bauru. De acordo com Dupas (2001) Por São Carlos estar situada em zona de recarga e em altitudes elevadas, desfavoráveis ao artesianismo, fará com que a utilização desenfreada da água do Aquífero Guarani provoque problemas de suprimento de água mais rápido que a cidade de Bauru.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Neste período (1989), a população de São Carlos era de 150.027 habitantes consumindo cerca de 650 L/s, representando uma demanda *per capta* de 374,3 L/hab.dia.

Passados 10 anos, em 1999, a captação do Galdino (captada no manancial do córrego Santa Maria Madalena) não estava mais em operação por problemas de qualidade da água ocasionados pela urbanização. Por outro lado, os poços profundos mais que dobraram, passando de 10 para 22.

Comparando as taxas de crescimento da população com as taxas de crescimento da demanda hídrica, pode ser verificado que de 1989 a 2009 a população cresceu 51,2% passando dos 150.027 para 226.789 habitantes, neste período a demanda hídrica total aumentou 40,2%, passando de 650L/s para 911,4 L/s.

Este maior incremento da população, se comparada à demanda hídrica, fez com que a demanda *per capta* diminuísse 7,2%, passando de 374,3 L/s para 347,2 L/s, o que sugere tímidas mudanças no comportamento dos consumidores em direção a um consumo racional[8]. Deve-se atentar que esses consumidores por estarem situados em uma região de grande disponibilidade de água subterrânea, são afetados, até mesmo indiretamente por costumes que não privilegiam o consumo responsável.

Verifica-se que para o período de 1989 a 2009 a captação superficial decresceu 20,5%, passando dos 594 L/s para 472,3 L/s, enquanto que a exploração de fontes subterrâneas teve um incremento de 684,2% passando dos 56 L/s para 439,2 L/s.

Este cenário evidencia uma mudança no modelo de exploração dos recursos hídricos, que antes era baseado em fontes superficiais e ora se mostra dependente da exploração de fontes subterrâneas orientado na abundância, facilidade de exploração e baixos custos de tratamento de águas subterrâneas, o que, sem dúvida, contribui e privilegia a degradação, poluição e não a conservação dos mananciais de água superficial. Além do que, contraria o Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de água de São Carlos (SAAE, 1989) que sugere a exploração inicialmente de fontes superficiais e especialmente o manancial do Feijão.

Essa mudança permite comparações com DAEE (2003) quando cita os princípios da "supremacia do interesse ambiental sobre o interesse privado" e o "princípio da precaução",

[8] O consumo está acima da média brasileira que é de 260 L/hab.Dia, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB citada por Francisco & Carvalho (2008).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

devendo ser privilegiada a preservação dos mananciais de água superficial com vistas à proteção e uso dos recursos hídricos subterrâneos[9].

Pela análise do comportamento da mancha urbana nas últimas quatro décadas (1962 a 2006), o qual apontou um avanço sobre os mananciais e pelo resultado observado com relação à qualidade ambiental desses mananciais, verifica-se que até o momento, as questões relacionadas às disparidades entre o crescimento urbano, conservação dos mananciais e crescimento da demanda hídrica foram contornadas construindo mais poços artesianos para aumentar a oferta de água próxima da demanda. Tal uso se torna eficiente e interessante a curto prazo, mas tende a ser ineficaz no decorrer dos anos, pois o aquífero tende a diminuir as vazões explotáveis.

A importância estratégica dos mananciais superficiais fica evidente quando considerada a combinação para o ano de 2050, se comparadas com 2006, de uma população de 382.385 habitantes (+76,8%), abrangendo uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km² (+93,6%).

Neste cenário, a degradação dos mananciais superficiais e uma superexploração das fontes subterrâneas indicam que o estresse hídrico irá aumentar consideravelmente na região de São Carlos.

5.5. Análise integrada, cenários, simulações com o Plano Diretor Participativo de São Carlos e alternativas futuras

Neste item serão analisados de forma integrada, os resultados obtidos da projeção do crescimento populacional e da dinâmica da mancha urbana até 2050, a qualidade dos mananciais do Feijão e do Monjolinho, o modelo de exploração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para abastecimento público, o Plano Diretor Municipal e os dados levantados de zoneamentos da vulnerabilidade no manancial do ribeirão do Feijão.

Para predição da superfície impermeabilizada futura, foi utilizada análise estatística de regressão linear. Os dados de população dos anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e de 2006 foram relacionados com as métricas das superfícies impermeabilizadas para os mesmos anos, que preliminarmente foram extraídas de fotografias aéreas e imagens de satélites.

[9] Se permanecer a incerteza científica sobre eventual degradação ambiental provocada por qualquer tipo de atividade, deve prevalecer o interesse ambiental, o interesse social e a preservação do meio ambiente. Estes princípios não se devem passar despercebidos no desenvolvimento de qualquer atividade, sobretudo sobre a área de recarga e afloramento do aquífero (DAEE, 2003).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Conforme evidenciado na Figura 40, o modelo de regressão linear representou, de forma satisfatória, o crescimento da superfície impermeabilizada da cidade de São Carlos no período de 44 anos.

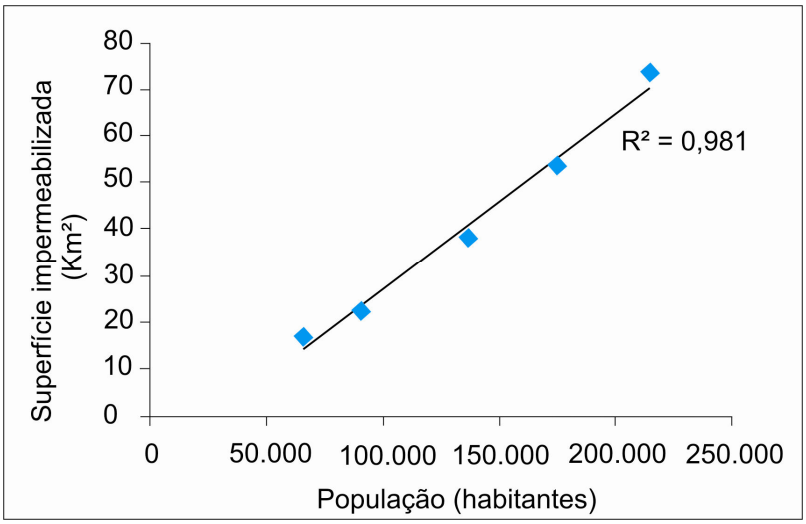


Figura 40. Diagrama de dispersão entre a população e a superfície impermeabilizada para os anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 da cidade de São Carlos, SP.

Desta forma, a Equação 5, o qual representa o modelo de regressão, foi adotada para a projeção da superfície impermeabilizada para as próximas décadas[10]:

$$y = 0{,}0004x - 9{,}8147 \qquad (5)$$

Onde y corresponde à superfície impermeabilizada em Km² e x é a população.

Utilizando a metodologia proposta por López *et al.* (2001) e Jat, Garg & Khare (2008) os dados de crescimento populacional estimados anteriormente pela Equação 4 são as variáveis exploratórias que alimentam o modelo matemático definido na Equação 5 para predição da superfície impermeabilizada futura.

Como o crescimento populacional tem relação direta com o crescimento da mancha urbana, na Tabela 7 e na Figura 41 são apresentados os resultados do crescimento populacional de 1962 a 2006 incluindo as projeções até 2050, em conjunto com as métricas e projeções verificadas para a mancha urbana (superfície impermeabilizada) e para densidade populacional.

[10]A relação entre a população e a superfície impermeabilizada aponta forte correlação positiva entre os dados. A normalidade foi comprovada por meio da análise dos resíduos, utilizando o teste de Shapiro Wilk, sendo que o *valor p = 0,5246* foi maior do que o nível de confiança estabelecido de 0,05.

Tabela 7. Estatísticas de crescimento populacional, de área impermeabilizada e densidade de Hab/Km² da cidade de São Carlos, SP.

	Ano	Área km²	Incremento na SI* %	População	Incremento na população %	Densidade Hab/km²
Dados	1962	18,04	-	66.312	-	3.675,8
	1972	23,07	27,9	91.214	37,6	3.953,8
	1986	38,45	66,7	139.162	52,6	3.619,3
	1996	54,20	41,0	177.222	27,3	3.269,8
	2006	73,95	36,4	216.266	22,0	2.924,5
Cenários	2010	82,47	11,5	230.717	6,7	2.797,5
	2020	97,64	18,4	268.634	16,4	2.751,3
	2030	112,81	15,5	306.551	14,1	2.717,5
	2040	127,97	13,4	344.468	12,4	2.691,7
	2050	143,14	11,9	382.385	11,0	2.671,4

Legenda: *Superfície impermeabilizada ou mancha urbana.

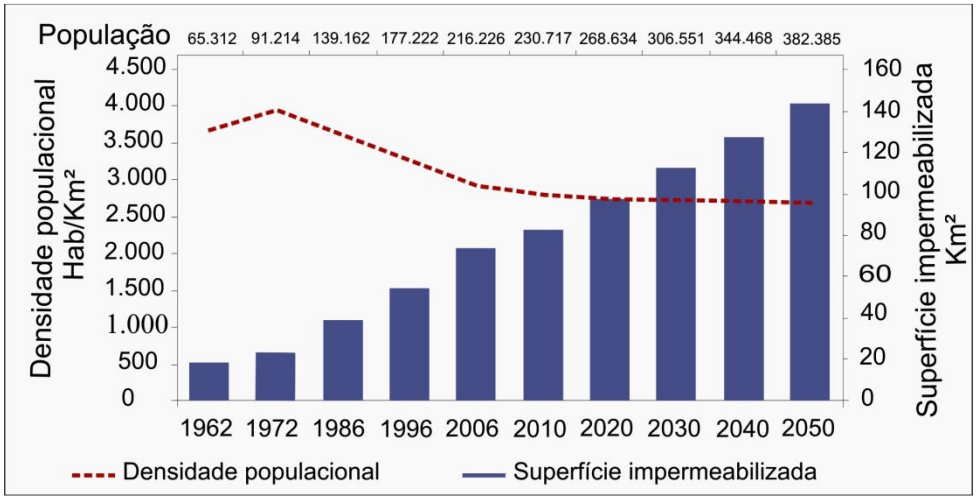


Figura 41. Representação gráfica de cenários preditivos para a cidade de São Carlos, SP.

Pela Tabela 7 e Figura 41, verifica-se que para o período de 1962 a 1972 a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada (27,9%) foi menor que a taxa de crescimento da população (37,6%), apresentando uma singularidade frente aos próximos períodos analisados. A explicação para essa diferença está no fato de que o incremento populacional registrado até 1972 foi alocado nas áreas expandidas durante as décadas de 1950 e 1960, conforme descrito por Lima (2007). Esse comportamento fez com que aumentasse o número de habitantes por Km², passando de 3.675,8 para 3.953,8.

Para o período de 1972 a 1986, a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 66,7% e a taxa de crescimento da população foi de 52,6%, consequentemente, a

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

densidade populacional, que reflete o espalhamento da mancha urbana caiu de 3.953,8 para 3.619,3 Hab/Km², sugerindo maior consumo do espaço e recursos naturais.

No período de 1986 a 1996 a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 41% enquanto que a taxa de crescimento da população foi de 27,3%. Com isso, o número de habitantes por Km² diminuiu de 3.619,3 para 3.269,8 Hab/Km², denotando também em aumento da dispersão do tecido urbano. Esse padrão disperso e fragmentado fez com que a mancha urbana adentrasse no manancial do Feijão, provocando lançamento de esgotos domésticos e poluição difusa transportada pelas águas pluviais nos corpos hídricos.

De 1996 a 2006, a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 36,4% e a taxa de crescimento da população foi de 22%, com isso o número de habitantes por Km² passou de 3.269,8 para 2.924,5. Da mesma maneira que a partir de 1972, o consumo de novos espaços imobiliários são destacados pela redução do número de habitantes por Km².

Sintetizando 44 anos de crescimento urbano de São Carlos (1962 a 2006), as estatísticas revelam que a superfície impermeabilizada cresceu 309,9%, enquanto que a população cresceu 226,1%. Esse comportamento implica que o consumo *per capita* de área para fins urbanos tem aumentado nas últimas quatro décadas, refletindo em espalhamento da superfície impermeabilizada e decréscimo de 20,4% na densidade populacional, apontando para consequentes aumentos dos custos com infraestrutura e serviços.

Comportamento similar tem sido constatado em outros países, por exemplo, Jantz *et al.* (2005, segundo Schueler, Fraley-Mcneal & Cappiella, 2009) constataram que a superfície impermeabilizada tem crescido num ritmo maior do que a população em algumas localidades dos Estados Unidos. Segundo os autores, o padrão não adensado e fragmentado da superfície impermeabilizada, leva a um consumo excessivo de terras e recursos naturais, além de aumentar a área influenciada pela poluição difusa, originada na urbanização.

Os resultados da projeção do crescimento populacional, para o período de 2006 a 2050 apontam para um substancial aumento (76,8%), passando dos 216.266 para 382.385 habitantes, ou seja, um aumento de 166.119 habitantes (Tabela 7 e Figura 41).

As projeções efetuadas para o crescimento da superfície impermeabilizada para o mesmo período indicam um aumento significativo da ordem de 93,6%, passando dos 73,95 Km² para 143,1 Km², representando um acréscimo de aproximadamente 69,1 Km².

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Assim, é previsto que apesar da população não dobrar no período, a superfície impermeabilizada é duplicada. Uma maior taxa de crescimento da superfície impermeabilizada é refletida na densidade populacional, onde é observada uma tendência de queda de aproximadamente 8,7% para o mesmo período (2006 a 2050), sinalizando maior espalhamento e fragmentação do tecido urbano, refletindo em maior consumo de área e de recursos naturais.

Analisando o direcionamento da mancha urbana nos últimos 44 anos e as áreas que apresentam maiores vulnerabilidades, (considerando-se a hipsometria, hidrografia, declividade, pedologia e cobertura do solo) como mostrado na Figura 33 onde é apresentada uma síntese da relação fragmentos florestais, bacias hidrográficas mananciais, geologia (permeabilidade do solo e erosão), infraestruturas (estradas, disposição de resíduos sólidos, captações de água superficial), mancha urbana ou superfície impermeabilizada de 2006, todos sobre a mesma área, foi possível compor um diagnóstico, visando o planejamento integrado, a fim de analisar e prognosticar, via Plano Diretor, sobre a forma de como ocorre a evolução da cidade de São Carlos e as implicações impostas por tal fato.

Observa-se, pelo mapa de declividade, que dos 1.160 Km² da área de estudo, as declividades de 0,001 até 10% predominam, abrangendo 75,6% (876,6 Km²), as declividades de 10 a 20% representam 17,3% (200,9 Km²), as declividades de 20 a 30% somam 4,6% (53,1 Km²), e as declividades acima de 30% abrangem 2,5% (29,4 Km²). As declividades acima de 20% estão localizadas nas bordas do planalto, em consonância com afloramentos da Formação Serra Geral, onde são formadas as Cuestas. Nos mananciais do Monjolinho e do Feijão predominam declividades de 0,001 a 10%. Porém conforme relatam Cunha (2010 *no prelo*), Oliveira (2010 *no prelo*) e Pereira (2010 *no prelo*), no manancial do Feijão, áreas com altas instabilidades e vulnerabilidades quanto à erosão são verificadas nas declividades mais acentuadas (Figura 30 e Figura 33).

Quando são analisadas as características pedológicas, fica evidenciado o predomínio dos Latossolos (Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo), os quais mostram elevadas produtividades em nível de manejo alto, sendo intensamente utilizados com culturas como a cana-de-açúcar. Quanto à permeabilidade, em geral é muito boa. Já o solo Areias Quartzosas Profundas, pelo fato de conterem, proporcionalmente, grande quantidade de poros, apresentam excelente permeabilidade e pequena retenção de água (OLIVEIRA, 2008). Porém

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

são mais suscetíveis à erosão (PEDRO & LORANDI, 2004; PONS, PEJON & ZUQUETTE, 2007) e a poluição (ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009) (Figura 31).

A geologia apresenta predomínio da Formação Botucatu 47,8% (545,7 Km²), seguida da Formação Itaqueri 26,4% (305,9 Km²), Serra Geral 19,5% (225,7 Km²) e Formação Pirambóia 6,3% (73,6 Km) (Figura 33).

Diante do exposto, verifica-se que o solo Areias Quartzosas Profundas localizam-se em áreas com menores altitudes, com relevo aplainado sobrejacente a Formação Botucatu. Em virtude dessas características, a infiltração de água é potencializada, favorecendo a recarga do Aquífero Guarani, estas características são ainda mais marcantes no manancial do Feijão, onde 72,2% (160,8 Km²) da área é constituída pela Formação Botucatu.

O mapa de cobertura do solo indicou um predomínio das áreas de pastagens 31% (360,1 Km²), solo exposto 17,6% (203,9 Km²), fragmentos florestais 16,9% (196,5 Km²), laranja 13,8% (160,1 Km²), cana-de-açúcar 8,3% (96,1 Km²), urbano 7,2% (83,9 Km²), reflorestamentos com 4,4% (51,4 Km²) e água (0,8%). No manancial do Monjolinho as pastagens representam 50,6%, e no Feijão 38,7% da área da bacia (Figura 32 e Figura 42).

Figura 42. Predomínio de pastagens na área de estudo e nos mananciais.

Deve-se atentar que grandes áreas com solo exposto, em função de práticas agrícolas, estão posicionadas junto às margens dos rios e nascentes sem que sejam obedecidas as APPs definidas no Código Florestal. Segundo Paes *et al.* (2010), as APPs têm atuação preponderante na proteção dos solos quanto à ocorrência de processos erosivos, além de protegerem os corpos d'água da deposição de sedimentos e poluentes (Figura 32).

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Verifica-se que os remanescentes florestais representam apenas 16,9% (196,5 Km²) da área de estudo, encontrando-se fragmentados e dispersos, formando pequenas ilhas sem ligação concentrada nas bordas das Cuestas, em regiões com maiores declividades, até por conta da dificuldade de acesso e impossibilidade do uso para fins agrícolas. Com relação à vegetação ripária e de nascentes, é observado grande déficit em toda área de estudo, não poupando os mananciais e não sendo cumprido o Código Florestal (Figura 32 e Figura 33).

Quando cruzadas as áreas de fragmentos florestais com a geologia (Figura 33), verifica-se que em 2006 os fragmentos florestais cobriam apenas 10,1% da área abrangida pela Formação Botucatu, já as pastagens representam 32% sobre essa formação. As consequências da pouca quantidade de cobertura florestal sobre a Formação Botucatu são verificadas na diminuição da recarga do Aquífero Guarani (ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009).

A pressão da ocupação do solo para fins urbanos é evidenciada nas áreas de mananciais. A superfície impermeabilizada representa 17,4% (4,2 Km²) da área do manancial do Monjolinho e abrange 4,9% (10,9 Km²) do manancial do Feijão. Segundo estudos realizados nos Estados Unidos e não descartando a necessidade de estudos regionais, os resultados da urbanização são verificados na diminuição da qualidade das águas subterrâneas (SCHUELER, 1994; PUTRA & BAIER, 2007) e do nível de base de aquíferos (ROGERS, LLAMAS & CORTINA, 2006); no aumento da poluição difusa, provocadas por poluentes dissolvidos na enxurrada, como metais pesados presentes em tintas, óleo de motor, graxa e resíduos de rações para animais (TANG *et al.,* 2005), no empobrecimento da comunidade biótica (WANG, LYONS & KANEHL, 2001; SCHOONOVER, PAN & LOCKABY, 2005; TUNDISI *et al.,* 2007) e na redução da oferta de água para abastecimento (LEE, 2000; LERNER & HARRIS, 2009).

Como consequência da urbanização, a questão dos resíduos sólidos sempre foi um problema para o município de São Carlos. Verifica-se pela Figura 33 que o antigo lixão da cidade, está localizado na bacia hidrográfica do Feijão, à montante da captação de água, próximo aos afluentes do córrego São João ou São José e sobre litologia da Formação Botucatu, portanto, em uma região totalmente inadequada para tal fim. Também já destacado em Dupas (2001), o antigo lixão é um grande passivo ambiental, sendo essa área considerada por CETESB (2006, *apud* Frésca, 2007) um local onde há comprovadamente a contaminação do solo e das águas. A contaminação da água que é bombeada para a cidade e tratada por

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

processos que não eliminam os metais pesados, tem como consequência o consumo humano de água possivelmente com padrões inadequados (Figura 43).

Figura 43. Geração de chorume no antigo lixão. Fonte: Frésca (2007).

Com relação ao aterro sanitário atual, localiza-se ao norte da cidade entre os bairros Valparaíso e Damha I, a cerca de 250 metros de afluentes do córrego do Galdino (Figura 33 e Figura 44).

Figura 44. Vista do aterro sanitário e sua posição em relação à cidade. Fonte: Frésca (2007).

O referido aterro está no limite de sua capacidade, sendo que todo chorume gerado é simplesmente armazenado em lagoas de contenção impermeabilizadas, já que não existe um tratamento adequado no município (FRÉSCA, 2007). O escoamento superficial de poluentes de origem pontual provocada pelo aterro sanitário potencializa a poluição no córrego do

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Galdino, que ao desembocar no rio Chibarro, escoará sobre a Formação Botucatu. Esse cenário provavelmente compromete a qualidade da água que servirá como recarga do Aquífero Guarani. Em virtude dessas considerações, fazem-se necessários estudos, a fim de embasar novos locais de disposição de resíduos sólidos que não comprometam mananciais atuais e futuros bem como a população.

Em síntese, verifica-se que a combinação na quadrícula estudada de uma densa rede hídrica, escoando sobre áreas compostas por litologia da Formação Botucatu, potencializam taxas de permeabilidade e fazem dessa região uma importante área formadora de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. No entanto, a combinação de grandes áreas com atividades relacionadas ao agronegócio, com uso intensivo de agrotóxicos e adubos químicos, pouca cobertura florestal, déficit de vegetação ripária e grandes porções de cobertura impermeabilizada em mananciais, podem reduzir significativamente a capacidade de armazenamento de água, a filtragem e a recarga dos aquíferos, além de potencializar os processos erosivos culminando em baixa qualidade e quantidade de recursos hídricos para uso urbano. Esta situação é agravada com a poluição pontual provocada pela disposição de resíduos sólidos em locais inapropriados (PEDRO & LORANDI, 2004; PONS, PEJON & ZUQUETTE, 2007; TUNDISI *et al.,* 2007; TAVANTI *et al.,* 2009; ZUQUETTE, PALMA & PEJON, 2009; CUNHA, 2010, OLIVEIRA, 2010; PEREIRA, 2010).

Em suma, a análise integrada do comportamento da mancha urbana de São Carlos entre os anos de 1962 a 2006, em conjunto com variáveis ambientais, evidenciou que a falta de planejamento, supervisão inadequada e a continuidade de erros técnicos primários por parte do executivo municipal, estadual e federal levaram a problemas ambientais, como: (i) ocupação pela superfície impermeabilizada de áreas de APPs, como margens de rios e nascentes; (ii) ocupação de áreas com declividades acima de 30%, em consonância com solo composto por Areias Quartzosas Profundas na região sudoeste da cidade, envolvendo os bairros Cidade Aracy e Antenor Garcia, provocando assoreamento nos córregos da Água Quente e da Água Fria; (iii) Fragmentação da vegetação nativa, ripária e de cabeceiras, as quais formam pequenas manchas sem ligação; (iv) o aumento da superfície impermeabilizada e a canalização alteraram a condição hidrológica de alguns rios, aumentando a taxa de escoamento superficial, diminuindo a recarga e nível de base, tendo como consequência o aumento da incidência de enchentes; (v) a ocupação em áreas de mananciais fizeram com que

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

fossem reduzidas a quantidade e qualidade da água; (vi) tanto o antigo lixão, como o atual aterro sanitário estão localizados em áreas impróprias para tal fim.

Com relação ao cenário atual regulamentado pelo Plano Diretor Municipal por meio do Zoneamento Municipal (SÃO CARLOS, 2005), a expansão da superfície impermeabilizada, na forma de desenvolvimento comercial, industrial e residencial é projetada para as regiões noroeste, leste, norte e sudeste, formando um corredor sudeste/noroeste, ao longo das rodovias Washington Luís (SP 310), Thales de Lorena Peixoto Junior (SP 318) e Luiz Augusto de Oliveira (SP 215).

O Plano Diretor define como áreas destinadas para a expansão urbana as Zonas 1, 2, 3A, 4A e 4B. As Zonas 3B, 5A, 5B, 6, 7 são definidas como inadequadas (SÃO CARLOS, 2005).

No entanto, o referido Plano prevê que todo território poderá ser habitacional, destinado a moradia; não habitacional destinado ao exercício de atividades comerciais e industriais ou mistos, desde que atendidas às restrições quanto a atividades geradoras de impactos e de incômodos. Deste modo, o Plano Diretor restringe, porém não proíbe, o uso do solo para fins urbanos nas Zonas 3B, 5A e 5B que se caracterizam por serem áreas de proteção e preservação dos mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão.

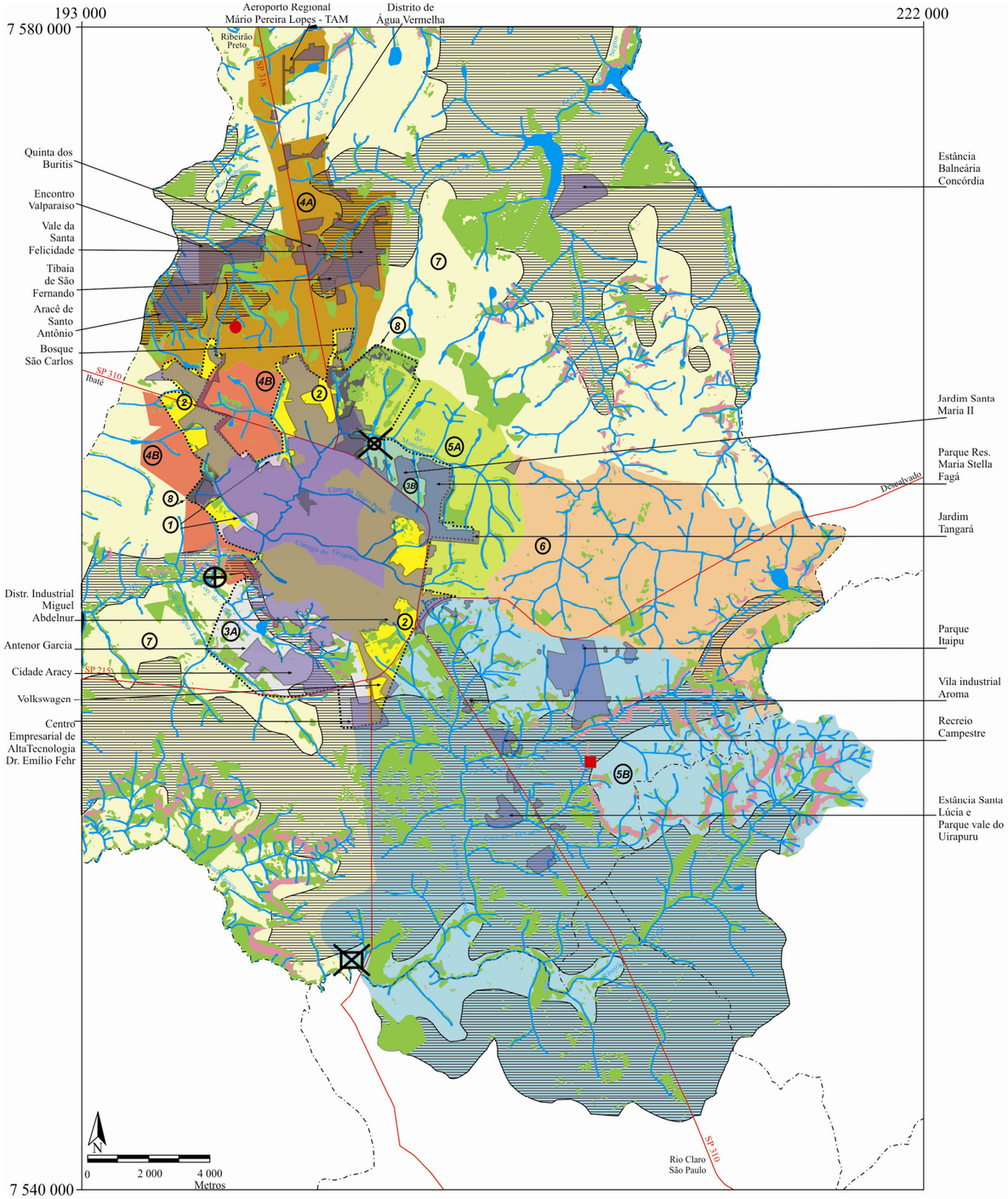
A fim de elaborar análise crítica, apontando limitações na atual regulação do uso do solo municipal via Plano Diretor, bem como sugerir devidas correções, foi elaborado o cenário atual (2006) e construídos cenários futuros de expansão urbana da cidade, visando buscar adequações.

Foram consideradas impróprias para uso urbano as áreas compostas por fragmentos florestais[11], as áreas previstas para APPs de margens dos rios e de nascentes definidas pelo Código Florestal (BRASIL, 1965), as áreas com declividades acima de 30% (BRASIL, 1979, SÃO CARLOS, 2005) e as áreas constituídas pela Formação Botucatu devido ao seu alto grau de permeabilidade.

Na Tabela 8 contida na Figura 45 é apresentada uma síntese das áreas já urbanizadas, das áreas adequadas e inadequadas para serem urbanizadas.

[11] Este cenário assume que os fragmentos florestais compostos por todas as formas de vegetação nativa primária ou secundária nos estágios médio e avançado de regeneração não podem ser convertidos para usos urbanos.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.



LEGENDA

LIMITES
- Intermunicipal
- Perímetro urbano

ESTRADAS DE RODAGEM
- SP 310 Rod. Washington Luiz
- SP 318 Rod. Thales de Lorena P. Jr.
- SP 215 Rod. Luiz Augusto de Oliveira

CAPTAÇÃO DE ÁGUA
- Rio do Monjolinho
- Ribeirão do Feijão

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- Antigo lixão
- Aterro sanitário

- Mancha urbana - 2006
- Fragmentos florestais
- APP prevista (margens de rios e nascentes)
- Declividades acima de 30%
- Formação Botucatu

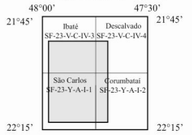
Tabela 8. Síntese da expansão urbana (2006) com base no Zoneamento Municipal.

	Zonas	Área Km²	Área urbanizada Km²	Área urbanizada %	Áreas impróprias para uso urbano - Km²*	Área disponível para uso urbano - Km²
Adequadas	1	16	15,3	95,4	0,2	0,5
	2	32,9	23,9	72,7	2	7
	3A	15,7	6	37,9	5,5	4,2
	4A	47	10,1	21,5	13,7	23,2
	4B	14,1	0,6	3,5	2,1	11,4
	TOTAL	125,7	55,9	44,5	23,5	46,3
Inadequadas	3B	6,3	5,3	84,7	0,3	0,7
	5A	23	0,5	2,4	4,7	17,8
	5B	120,3	7,1	5,9	85,5	27,7
	6	61,4	0,1	0,16	12,9	48,4
	7**	798,9	3,2	0,4	179	616,7
	8***	4,6	1,9	41,3	1,4	1,3

*Fragmentos florestais, APP de margens de rios, nascentes e declividade acima de 30%, geologia da Formação Botucatu; ** Valores referentes à área de estudo; *** Campi Universitários.

Localização da área no Estado

Articulação da base cartográfica



Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH
Área de concentração: Planejamento e gestão de bacias hidrográficas
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 45. Síntese das áreas adequadas e inadequadas para expansão urbana e das áreas que devem ser protegidas no município de São Carlos (adaptado de SÃO CARLOS, 2005) – (FIGURA 45).

Observa-se que a Zona 1 possui 16 Km², dos quais 15,3 Km² (95,4%) já estão urbanizados. As áreas impróprias para uso urbano representam 0,2 Km², restando apenas 0,5 Km² para ser urbanizado. A pequena área disponível para ser urbanizada localiza-se junto da borda noroeste da mancha urbana (Figura 45).

A Zona 2 conta com uma área de 32,9 Km², dos quais aproximadamente 23,9 Km² (72,7%) já está urbanizado. As áreas impróprias para uso urbano agregam 2 Km², restando um saldo de 7 Km² disponível para expansão urbana. Essas áreas estão localizadas a noroeste, oeste e a sudeste da mancha urbana. Na região sul/sudeste da mancha urbana, está situado o Parque Industrial Miguel Abdelnur, a fábrica de motores da Volkswagen, o Parque Tecnológico Science Park e o Centro Empresarial de Alta Tecnologia - CEAT "Dr. Emílio Fehr". No entanto, essa região encontra-se dentro do manancial do Feijão, sendo necessário adotar um sistema preventivo nesses parques industriais, a fim de não causarem danos ao manancial.

A Zona 3A possui uma área de 15,7 Km², dos quais 6 Km² (37,9%) já estão urbanizados, as áreas impróprias para uso urbano representam 5,5 Km², restando um saldo de 4,2 Km² de área disponível para ser urbanizada. Localizada ao sul da mancha urbana, é caracterizada pela existência de ilhas de fragmentos florestais e áreas com declividades acima de 30%. Além disso, parte desta zona também está situada sobre litologia da Formação Botucatu e solos compostos por Areias Quartzosas Profundas. Apesar de apresentar tais características, pelo Plano Diretor Municipal, é destinada ao uso misto do território, a fim de atrair comércio e serviços. Em virtude disso, a expansão urbana nessa zona potencializará os problemas relacionados à falta de vegetação ripária, erosões e assoreamento nos córregos da Água Quente e Água Fria, como já destacado por Pedro & Lombardi (2004) e Pons, Pejon & Zuquette (2007), refletindo no declínio da quantidade e qualidade da água desses corpos hídricos.

A Zona 4A possui 47 Km² de área, dos quais 10,1 Km² (21,5%) já estão urbanizados. As áreas impróprias para uso urbano somam 13,7 Km², restando um saldo de 23,2 Km² de área disponível para ser urbanizada. Localizada a noroeste da mancha urbana, apresenta fortes tendências para a expansão urbana, com concentração de novos empreendimentos imobiliários, como condomínios, loteamentos, bem como outros usos relacionados ao esporte, lazer e serviços.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Verifica-se que os impactos negativos da expansão urbana nessa zona (4A) são direcionados para o rio Chibarro, a noroeste, e para o córrego do Lobo, a norte/nordeste, que escoam sobre a Formação Botucatu, comprometendo a qualidade da água que servirá de recarga para o Aquífero Guarani. Além disso, esses rios poderão receber lançamentos clandestinos de esgoto *in natura*, já que a atual Estação de Tratamento de Esgoto está localizada em oposição ao atual eixo de desenvolvimento.

A Zona 4B conta com uma área de 14,1 Km², dos quais 0,6 Km² (3,5%) estão urbanizados. As áreas impróprias para uso urbano representam 2,1 Km², sobrando um saldo de 11,5 Km² para ocupação futura. Pela proximidade com a região leste da mancha urbana, essa zona apresenta forte tendência para a urbanização. Entretanto, na extremidade sul, situam-se vários afluentes do rio do Monjolinho, áreas compostas pela Formação Botucatu, além de declividades acima dos 30%. Essas características inviabilizam a expansão urbana no extremo sul da referida zona, sendo necessária revisão do atual Plano Diretor, a fim de corrigir os limites dessa zona.

Diante do exposto, o total das áreas adequadas para expansão urbana, Zonas 1, 2, 3A, 4A e 4B é de 125,7 Km², porém, 55,9 Km² (44%) dessa área já está ocupada pela mancha urbana de 2006. As áreas impróprias para uso urbano representam 23,5 Km², restando um saldo de 46,3 Km² para ser urbanizado.

Considerando os cenários de crescimento da superfície impermeabilizada para as próximas décadas apresentados na Tabela 7, verifica-se que o saldo de 46,3 Km² de área adequada e disponível para uso urbano suporta o crescimento da mancha urbana até meados da década de 2030, sem que sejam considerados os vazios urbanos e imóveis subutilizados que deveriam ser ocupados.

Deve ser lembrado que os vazios urbanos e os imóveis vagos e subutilizados, não foram contabilizados no saldo das áreas disponíveis para serem urbanizadas. Segundo Dozena (2001) a cidade de São Carlos apresenta vários terrenos ociosos, sendo que o poder dos especuladores imobiliários evidencia-se na medida em que o poder público "opta" pela urbanização de locais distantes, não se utilizando dos terrenos já servidos por infraestrutura, evidenciando a péssima administração do solo urbano. Segundo Schueler (1994), a melhor maneira de minimizar a criação de áreas impermeáveis seria ocupar os vazios urbanos, aumentando assim, a densidade populacional, diminuindo o espalhamento da superfície impermeabilizada, evitando a poluição difusa e o consumo desnecessário de recursos naturais.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Analisando-se as áreas inadequadas para expansão urbana, verifica-se que a Zona 3B que está inserida dentro do manancial do Monjolinho, possui uma área de 6,3 Km², dos quais 5,3 Km² (84,7%) já estão urbanizadas. Como característica, essa zona agrega afluentes do rio do Monjolinho, os quais a mancha urbana está envolvendo gradativamente, evidenciando descumprimento do Código Florestal, do próprio Plano Diretor e da Lei Estadual de Proteção aos Mananciais, provocando sérios danos para a qualidade da água desse manancial.

Continuando com as áreas inadequadas, a Zona 5A é caracterizada por ser área de proteção e preservação do manancial do Monjolinho e também das nascentes do córrego do Gregório. Possui uma área de 23 Km², dos quais 0,5 Km² (2,4%) já estão urbanizadas. Observa-se a formação de novos núcleos urbanos a nordeste dessa zona, bem como no extremo sul, influenciado pela proximidade da rodovia Luiz Augusto de Oliveira (SP 215) que contorna a borda inferior da mancha urbana, no sentido leste/oeste. Deve-se atentar que esses novos núcleos urbanos sinalizam novas frentes de expansão urbana em áreas de mananciais, devendo ser fiscalizadas pelo executivo municipal, a fim de conter imediatamente este avanço.

A Zona 5B representa o manancial do Feijão. Dos 222,7 Km² da área da bacia, 10,9 Km² (4,9%) já estão urbanizados. Deve ser atentado que no município de São Carlos situam-se 120,3 Km² do manancial, os outros 102,4 Km² fazem parte dos municípios de Analândia e Itirapina. As características desse manancial expostas anteriormente (Item 5.3.1) fazem com que seja considerado altamente vulnerável quanto à contaminação de águas superficiais e subterrâneas, não devendo ser ocupada para fins urbanos, contrariando também, e da mesma forma que no manancial do Monjolinho, as leis existentes e trabalhos realizados na área como o de Pereira (2010 *no prelo*). No entanto, pode-se observar pela Figura 45 a criação de núcleos urbanos ao longo da rodovia Washington Luiz (SP 310) que corta esse manancial no sentido sudeste/noroeste, o mesmo acontece ao norte do manancial pela proximidade da Luiz Augusto de Oliveira (SP 215). Esses núcleos urbanos sugerem também nova frente de expansão urbana, devendo ser fiscalizados pelo executivo municipal a fim conter o avanço. Além disso, constata-se que o Parque Industrial Miguel Abdelnur, o Parque Tecnológico Science Park e o Centro Empresarial de Alta Tecnologia - CEAT "Dr. Emílio Fehr", pelo Plano diretor Municipal, fazem parte da Zona 2. Na realidade, estão inseridos dentro do manancial do Feijão, ultrapassando inclusive o perímetro urbano.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Esse cenário faz com que aumente os problemas como poluição pontual, provocada pelo possível lançamento de efluentes industriais nos corpos hídricos e também poluição difusa provocada pelas águas pluviais, refletindo no declínio da quantidade e qualidade da água superficial e subterrânea desse manancial. Frente a essa situação, recomenda-se que o Plano Diretor Municipal seja revisto, a fim de alocar as áreas industriais em locais onde ofereçam menores riscos ambientais, pois é desaconselhada a expansão de distritos industriais e qualquer outro tipo de urbanização nessa área.

A Zona 6 possui 61,4 Km² de área, dos quais 0,1 Km² (0,16%) está urbanizado. Pelo Plano Diretor Municipal essa zona é caracterizada pela agricultura familiar, além de agregar nascentes do ribeirão dos Negros, do Quilombo e do Pântano, não sendo destinada para fins urbanos. No entanto, verifica-se que os pequenos núcleos urbanos localizados ao longo da rodovia Luiz Augusto de Oliveira (SP 215), em áreas ao sul da Zona 5A e ao norte da Zona 5B, evidenciam tendência de crescimento ao longo da rodovia em direção a Zona 6, podendo essa zona ser o alvo para empreendimentos imobiliários futuros.

As áreas abrangidas pela Zona 7 localizam-se ao norte e ao sul do município de São Carlos. Na área de estudo, a porção abrangida por essa zona possui 798,9 Km² de área, dos quais 3,2 Km² (0,4%) estão urbanizados. Essa área é caracterizada pela rica rede hídrica; predomínio da agroindústria, áreas de grande potencial de lazer e turismo, cachoeiras e propriedades de valor histórico. No entanto, verifica-se a presença de áreas urbanas a noroeste e a nordeste da área de estudo, sobre litologia da Formação Botucatu, podendo prejudicar a qualidade da água que atuam na recarga do Aquífero Guarani.

Verifica-se que dos 4,63 Km² da área destinada a Campi Universitários, 1,9 Km² (41,3%) já está ocupada, 1,38 Km² é de área imprópria, restando um saldo de 1,4 Km² a ser ocupado nos próximos anos. Estas áreas estão localizadas ao norte e leste da mancha urbana.

É necessário ressaltar que esta pesquisa prevê um aumento de 93,6% de superfície impermeabilizada para o ano de 2050, ou seja, deverá duplicar seu tamanho em 40 anos. Em um cenário agressivo, pode ser levado em conta o fato de que o governo local muitas vezes relaxa o controle sobre o desenvolvimento, permitindo processos e projetos simplificados de

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

loteamentos, cuja intenção é atrair ou beneficiar novos investidores, em um esquema de "construções indesejáveis"[12].

De acordo com Lei Estadual de Proteção dos Mananciais e com o Plano Diretor Municipal, as Zonas 3B, 5A e 5B devem ser protegidas por serem áreas de mananciais. No entanto, apesar da existência dessas leis, observa-se que em 2006 a mancha urbana continua avançando sobre os mananciais, sugerindo supervisão inadequada por parte do executivo municipal quanto a novas expansões urbanas.

Apesar disso, constata-se que ainda existe interesse em ampliar os loteamentos nessas áreas, por exemplo, existe um projeto de lei (Anexo II) que solicita a alteração do Plano Diretor Municipal para beneficiar loteamentos no manancial do Feijão, permitindo que cada vez mais este manancial seja degradado em função dos interesses privados sobre os sociais de uso coletivo de acesso à água e aos recursos hídricos. Esse cenário indica que o Plano Diretor Municipal poderá ter poucos resultados na conservação e proteção das áreas de mananciais (PEREIRA, 2010 *no prelo*). Neste sentido, é necessária adoção de medidas por parte do executivo dos municípios que dividem a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (São Carlos, Analândia e Itirapina), a fim de conter o avanço da urbanização e que busquem interesses da comunidade e não dos loteadores.

Destaca-se que o crescimento urbano, mesmo em áreas destinadas a tal fim, deve ser controlado e deve ocorrer de maneira gradativa, fazendo com que a densidade demográfica aumente, com a definição exata dos locais disponíveis dentro do perímetro urbano e fora das áreas de mananciais.

Nos novos empreendimentos imobiliários devem ser adotados um conjunto de ações com a supervisão adequada do executivo municipal, visando ajudar a proteger a qualidade dos recursos hídricos, por exemplo, a nova construção deveria minimizar a quantidade de superfície impermeável e maximizar a quantidade de vegetação, principalmente de espécies nativas, promovendo a infiltração de água e também minimizando as enchentes. Além disso, técnicas de jardinagem e gramados deveriam ser incentivadas, a fim de diminuir a taxa de escoamento, bem como reduzir a afluência de nutrientes na enxurrada, evitando a

[12]Neste esquema, a maior parte da população se sente constrangida frente aos condomínios fechados, comuns em São Carlos, que, além do mais, segundo o professor Anelli (USP/São Carlos) em entrevista a Tarpani (2008) agridem paisagisticamente a área, criando ilhas de moradias desconexas umas das outras. Permitem que a malha urbana se expanda deliberadamente, isto é, utilizam espaço desnecessário.

eutrofização. Neste sentido, *buffers* de vegetação ripária deveriam ser mantidos e em muitos lugares restaurados para ajudar a filtrar a enxurrada e inibir a erosão do solo (CENTER FOR WATERSHED PROTECTION, 2003; PAES *et al.,* 2010).

Especificamente no manancial do Feijão, por estar sobre região de recarga, deveriam ser inventariadas e criadas áreas de conservação, como trechos com vegetação que cobririam as margens de rios, nascentes, planícies alagadas e encostas íngremes, funcionando como corredores, conectando e abrangendo habitats de comunidades vegetais e animais.

De igual importância seria conservar e incentivar áreas de interesse cultural, histórico, trilhas, paisagens e áreas de lazer, bem como substituir o modelo atual, baseado no agronegócio por agricultura orgânica, a substituição se daria na forma de remunerar os produtores de água. Estas ações devem ser consideradas como guia, atingindo a consonância entre crescimento urbano e proteção dos recursos hídricos (DUPAS, 2001).

A não preservação dos mananciais superficiais atuais (qualidade e quantidade), em conjunto com a exploração ilimitada e contaminação das fontes subterrâneas, pode levar a cidade de São Carlos, em breve, a um cenário de escassez hídrica.

Assim, como o crescimento está direcionado para a região norte, nordeste, noroeste e sudeste, deve-se prever novos mananciais superficiais nessas regiões, ou seja, novas bacias hidrográficas devem ser preservadas, a fim de servirem como reservas d'água. Se essas medidas não forem tomadas, os problemas com abastecimento de água poderão ser agravados, fazendo com que a água subterrânea seja cada vez mais explorada com a abertura de novos poços próximos dos locais de demanda.

Deve-se atentar também, para os problemas de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas provocados pela disposição inadequada de resíduos sólidos (no passado) no manancial do Feijão (Zona 5B). Nessa área devem ser estabelecidos procedimentos para minimizar seus impactos negativos com investigação adequada e controle, já que a área é caracterizada como zona de recarga direta do Aquífero Guarani.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

CAPÍTULO VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto de planejamento territorial e de bacias hidrográficas, fontes baratas e primárias de dados como imagens de sensoriamento remoto, aliadas a técnicas de SIG e análises estatísticas possibilitaram integrar variáveis ambientais, como crescimento populacional e da superfície impermeabilizada, topografia, hidrografia, pedologia, geologia, infraestruturas, uso e cobertura do solo, Zoneamento Municipal e demanda hídrica, o que poderá dotar o município de São Carlos com um conjunto de diagnósticos, avaliações e propostas num balanço em que a eficiência territorial e hídrica é decisiva.

A análise do crescimento populacional apontou um comportamento urbano e crescente da população. Um maior aumento da taxa de crescimento da superfície impermeabilizada se comparada com a taxa de crescimento da população, sugere que a expansão urbana se dá de forma dispersa e fragmentada, com consumo de recursos naturais além do necessário.

Como consequência, a análise dos vetores de crescimento da mancha urbana de 1962 até 2006 indicou que a superfície impermeabilizada avançou sobre os mananciais do Monjolinho e do Feijão, apesar de haver muitas leis que restringem a ocupação, podendo ser citadas o Código Florestal de 1965, a Lei Estadual de Proteção dos Mananciais de 1997 e o próprio Plano Diretor Municipal de 2005, além de uma grande quantidade de estudos técnicos já realizados por variadas instituições. Estas áreas são consideradas importantes reservas de água superficial e de recarga de aquíferos.

O mapa de cobertura do solo de 2006 indicou um predomínio das atividades relacionadas ao agronegócio como pastagens, solo exposto (preparado para o cultivo), laranja, cana-de-açúcar e reflorestamento. Destaque deve ser dado à atividade pecuária, pois as pastagens representam cerca de 30% da área de estudo, especificamente nos mananciais, chega a 50,6% no Monjolinho e a 38,7% no manancial do Feijão. A cobertura vegetal natural remanescente encontra-se fragmentada e dispersa, localizando-se em regiões com maiores declividades, formando pequenas manchas sem conexão, representando nos mananciais 8,3% da área da bacia do Monjolinho e apenas 16,4% da bacia do Feijão. Também foi verificado alto déficit de vegetação ripária e ocupação das áreas de várzea em toda área de estudo. Com relação às áreas urbanas, representam 17,4% no manancial do Monjolinho e 4,9% no Feijão.

Quando comparado o mapa de cobertura do solo com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas dos mananciais, verificou-se que estão degradados, refletindo nos

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

baixos valores de IQA registrados. As principais fontes de poluentes são pontuais (antigo lixão) e difusas, relacionadas ao uso do solo urbano, proximidade com importantes corredores de transporte (SP 310) e com atividades relacionadas à agropecuária.

No período chuvoso, quando há maior volume de poluição difusa transportada pelas águas pluviais das áreas impermeabilizadas, os valores de IQA decresceram nos pontos de amostragens que possuíam área urbana em sua bacia de contribuição. Esse impacto ficou evidente no manancial do Monjolinho, pois 17,4% da área são de superfície impermeabilizada e no manancial do Feijão, onde a sub-bacia do ribeirão Laranja Azeda possui 10%. Desta forma, não descartando a importância de estudos regionais específicos que relacionam a influência dos outros usos do solo na qualidade da água, este trabalho parece reforçar o Modelo de Superfície Impermeável proposto por Schueler, Fraley-Mcneal & Cappiella (2009), o qual prevê um linear de 10 a 15% de superfície impermeabilizada em uma bacia hidrográfica a partir do qual há um declínio na qualidade da água dos rios em estudos realizados nos Estados Unidos, e ora usados somente como grandezas.

No que concerne ao uso agropecuário do solo, além dos impactos provocados pela alteração da estrutura do solo que pode reduzir a capacidade de armazenamento de água, a infiltração e a recarga dos aquíferos, a preocupação é com a transferência de nutrientes e poluentes na forma de adubos químicos e agrotóxicos para os rios e águas subterrâneas.

Diante do exposto, verificou-se que a combinação nos mananciais do rio Monjolinho e ribeirão Feijão de grandes áreas ocupadas com atividades relacionadas ao agronegócio, principalmente a pecuária, baixo índice de cobertura florestal e de vegetação ripária, altos índices de superfície impermeabilizada e a proximidade com importantes corredores de transporte, podem reduzir significativamente a qualidade da água, embora ainda sejam necessários estudos mais aprofundados a fim de estabelecer, mais especificamente, a relação entre estas variáveis.

Frente às condições degradantes em que se encontram os mananciais do rio Monjolinho e ribeirão Feijão, é possível constatar que mudanças no uso do solo terão que ser exigidas, a fim de conservá-los como reservas de água. Pelas análises efetuadas nessas bacias hidrográficas, verifica-se que os impactos decorrentes do uso do solo para fins urbanos e os relacionados ao agronegócio não são totalmente contabilizados, sendo necessária uma avaliação detalhada via zoneamento de fragilidades e ecológico-econômico, a fim de que

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

sejam equilibrados os custos e benefícios entre estes usos, abastecimento de água e a qualidade ambiental dessas bacias hidrográficas tão necessárias para a comunidade.

Algumas metas deveriam ser estabelecidas, podendo englobar toda área, e inevitavelmente, alterar a maneira de exploração da terra e dos recursos hídricos, entre elas:

I. Reordenamento do uso e ocupação do solo, baseando-se no zoneamento da fragilidade ambiental nessas áreas (CUNHA, 2010);

II. Estabelecimento de leis adequadas de uso e ocupação do solo nas áreas onde afloram a Formação Botucatu, caracterizada por ser zona de recarga do Aquífero Guarani (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991), pois a restrição aos usos do solo que potencializam as condições de impermeabilização e de poluição, somente no manancial do Feijão, não significa que o referido esteja protegido. Seriam necessários estudos regionais para verificação das direções predominantes do fluxo subterrâneo a fim de que as políticas de conservação sejam direcionadas para as áreas mais vulneráveis;

III. Apesar do Plano Diretor elaborado em 2005 e este trabalho proporcionar informações de 2006, persiste a imprudência do executivo em permitir loteamentos de diferentes tipos adentrando no manancial do Feijão e Monjolinho. Portanto, o planejamento territorial deve ser realizado em uma escala mais refinada de sub-bacias hidrográficas (adaptado de ZIELINSKI, 2010; SCHUELER, FRALEY-MCNEAL & CAPPIELLA, 2009);

IV. Simulação de possíveis cenários de uso e cobertura do solo que envolvam as atividades ligadas ao agronegócio e as conseqüências na qualidade e quantidade da água;

V. Áreas críticas que mereçam preservação poderiam ser adquiridas pelo Estado em prol do interesse coletivo;

VI. Promover a recuperação das áreas degradadas, principalmente as que fazem parte de APP de margens de rios e nascentes, atingindo níveis satisfatórios (TUNDISI *et al.,* 2007), já que foi constatado no trabalho de Paes *et al.* (2010) a importância que a APP tem na manutenção da qualidade dos recursos hídricos.

VII. Implantação do PSA, o qual compensará financeiramente os produtores rurais que conservarem e recuperarem suas nascentes, matas ciliares e áreas de

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

recarga, bem como fizerem o uso de agricultura orgânica, com a hipótese de recursos financeiros provenientes da cobrança pelo uso da água por usuários potenciais, inclusive a população urbana, estarem sendo aplicados na própria bacia hidrográfica. Essas propriedades seriam consideradas "Fazendas d'água" (DUPAS, 2001, MACHADO, 2009 *no prelo*)[13].

VIII. Estimular na população, maior fiscalização quanto ao cumprimento da legislação ambiental, projetos e planos diretores, principalmente quanto às normas de uso e ocupação do solo e emissão de poluentes, sendo considerada a poluição difusa provocada pelas atividades ligadas ao agronegócio;

IX. Maior controle e disciplinamento sobre os projetos de usos da água por meio de outorga e cobrança pelo uso, principalmente dos setores industriais, agropecuário e de saneamento;

X. Simulação de cenários futuros via zoneamentos de demandas hídricas e estipulação de metas de uso eficiente de água para a autarquia que é responsável pelo abastecimento público e usuários;

XI. Estudo da capacidade de suporte referente ao número de habitantes que poderá suportar o manancial do Feijão de maneira a não deteriorar a quantidade e a qualidade da água;

XII. Torna-se urgente também, a oficialização da integração entre os municípios, podendo ser uma comissão que elabore diagnósticos e prognósticos de como melhor utilizar as bacias hidrográficas do Feijão e do Itaqueri, ambas de alto interesse da comunidade regional.

As análises dos mapas representativos do crescimento da superfície impermeabilizada no passado e a formulação de cenários futuros, descrevem a mais provável evolução da cidade de São Carlos. Um cenário de longo prazo ainda reflete grande incerteza quanto ao uso do solo dessas bacias hidrográficas que são utilizadas para abastecimento público. Neste sentido, as vulnerabilidades atuais e futuras destacadas devem ditar os níveis de proteção ambiental, pois essas bacias hidrográficas são de grande importância como manancial de abastecimento público, e ainda sofrem pressão urbana e agrícola, estando próximas a importantes corredores de transporte, destacando como alerta para a mais elevada prioridade de planejamento.

[13] Cerca de 80% das áreas rurais do Estado de São Paulo são de domínio privado e quanto maior a aptidão agropecuária menor é a aptidão para a geração de serviços ambientais VON GLEHL (2006, *apud* SILVA, FOLEGATTI & SANTOS, 2009).

Ao simular cenários de crescimento populacional e de superfície impermeabilizada para as próximas décadas, a importância estratégica dos mananciais fica evidente quando considerada a combinação para o ano de 2050, se comparadas com 2006, de uma população de 382.385 habitantes (+76,8%) e uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km² (+93,6%). Assim, a degradação dos mananciais superficiais e uma superexploração das fontes subterrâneas sugerem estresse hídrico futuro para a cidade e região.

Estes resultados não são surpreendentes, dadas às conclusões de estudos anteriores que examinaram a relação de dependência entre crescimento urbano e o uso dos recursos hídricos ao longo do tempo (DUPAS, 2001). Este trabalho contribui, dentre outras, para a quantificação, simulação e comparação da expansão urbana com a atual regulação do uso do solo municipal instituída pelo Plano Diretor Municipal, por meio de cenários futuros. Esta análise possibilita que decisões sejam tomadas antes que mudanças irreversíveis sejam feitas.

Finalizando, diante do histórico e dados apresentados, o crescimento populacional e a falta de conhecimento técnico do executivo municipal levam a encarar a natureza como um grande obstáculo e problema a ser superado a qualquer custo, utilizando-a como "mercadoria política", sem pensar na população e seu futuro. O executivo municipal está à frente da população local e deve exercer com clareza, após desenvolvimento do Plano Diretor, programas que atendam de maneira satisfatória a relação (ou combate) entre a natureza e o Homem. Contudo, não é isto o que ocorre e ainda está muito longe de ser alcançado. Por desconhecimento técnico ou por má fé ou ainda os dois juntos, os executivos estão à mercê de especuladores imobiliários que, na maioria das vezes, ditam as regras. A fragilidade do executivo é aparente e pode ser destacada como um dos principais motivos para que a população também desinformada fique exposta à perversidade dos interesses puramente econômicos de poucos sobre os interesses coletivos.

Neste caso estudado, verificam-se claramente tais fatos já alertados por vários pesquisadores no passado. O descaso do executivo, apesar da legislação existente e dos estudos já realizados é explícito, chegando até a criar projeto de lei de loteamento no manancial do Feijão, que contraria o Plano Diretor de 2005, permitindo a expansão urbana. A ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão o tornará mais um canal de esgotamento sanitário, o que claramente prejudicará a população urbana com a degradação de um excelente manancial que deveria servir de reserva de água e suporte no abastecimento urbano da cidade de São Carlos e também da região.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. ASSSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de são paulo.** 2005. Disponível em: < http://www.abas.org.br/arquivos/aguasf.pdf> Acesso em: 22.01.2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil.** In. Caderno de Recursos Hídricos, 2, Brasília - DF, 2007.

BELLUCCI, C.; BEAUCHENE, M.; BECKER, M. **Physical, chemical, and biological attributes of least disturbed watersheds in Connecticut.** 2009. Disponível em: < http://www.ct.gov/dep/lib/dep/water/water_quality_management/ic_studies/least_disturbed__rpt.pdf> Acesso em 14.01.2010.

BLASCHKE, T; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados:** novos sistemas sensores, métodos inovadores. Tradução de Hermann Kux. 1 ed. São Paulo: oficina de Textos, 2005.

BOOTH, D. B. Urbanization and the natural drainage system – Impacts, solutions, and prognoses. **Northwest Environmental Journal**, v. 7, n. 1, p. 93-118, 1991.

BOOTH, D. B.; JACKSON, C. R. Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n. 5, p. 1077-1090, 1997.

BRASIL. **Decreto nº 24.643.** Decreta o Código das Águas. Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934.

BRASIL. **Lei nº 4.771.** Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF, 15 de novembro de 1965.

BRASIL. **Lei nº 6.766.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano. Brasília, DF, 19 de dezembro de 1979.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 05 de outubro de 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257.** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal. Estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, DF, 10 de julho de 2001.

CALLISTO, M; MORETTI, M; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde dos rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 06 n. 1, p. 71–82, jan./mar. 2001.

CAPPIELLA, K *et al.* The Next Generation of Stormwater Wetlands. Center for Watershed Protection, **Wetlands & Watersheds Article Series**, Article 5, Ellicott City, 2008.

CARNEIRO, P.R.F. **Controle de inundações em bacias metropolitanas onsiderando a integração do planejamento do uso do solo à gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí na região metropolitana do Rio de Janeiro.** 2008. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CARTER, N.; KREUTZWISER, R. D.; LOE, R. C. Closing the circle: linking land use planning and water management at the local level. **Land Use Policy**, n. 22, p. 115–127, 2005.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEREOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: < http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em: 16.07.2010.

CHENG, J; MASSER, I. Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China. **Landscape and Urban Planning**, v. 62, p. 199–217, 2003.

CONWAY, T. M.; LATHROPET, R. G. Alternative land use regulations and environmental impacts: assessing future land use in an urbanizing watershed. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 1–15, 2005.

CUNHA, R. C. DA. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.

CWP. CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. **Impacts of impervious cover on aquatic systems**, CWP, USA, Ellicott City, 2003.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** Folhas: Campinas SF-23-Y-A e Ribeirão Preto SF-23-Y-C. São Paulo, 1982.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Serviço Geológico do Brasil, São Paulo, 2005.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Projeto de proteção e desenvolvimento sustentável do sistema Aquífero Guarani.** In: Memória, Seminário Aquífero Guarani. Ribeirão Preto, 2003.

DEMÉTRIO, C. G. B; ZOCCHI, S. S. **Modelos de regressão.** Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP, Piracicaba, SP, 2008.

DOZENA, A. **São Carlos e seu "desenvolvimento":** contradições urbanas de um pólo tecnológico. 2001. Dissertação – (Mestrado), Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DUPAS, F. A. **Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais: Redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG - Estudo do caso de São Carlos, SP**. 2001. Tese – (Pós-Doutoramento), FAPESP, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FÉREZ, J. G.; THOMAS, A.; REYNAUD, A. **Reuso das águas na indústrias da bacia do rio Paraíba do Sul.** In. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

FRANCISCO, C. N.; CARVALHO, C. N. Avaliação da sustentabilidade hídrica de municípios abastecidos por pequenas bacias hidrográficas: o caso de Angra dos Reis, RJ. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13 n. 2, p. 15–30, abr./jun. 2008.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** 2 ed. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.

FRÉSCA, F. R. C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física.** 2007. Dissertação - (Mestrado), Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALVES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos.** 1 ed. São Paulo: Signus, 2006.

HIRSCHMAN, D.; WOODWORTH, L.; DRESCHER, S. **Stormwater BMPs in Virginia's James River Basin: An Assessment of Field Conditions & Programs.** Center for Watershed Protection, Ellicott City, 2009.

HURLIMANN, A.; DOLNICAR, S.; MEYER, P. Understanding behaviour to inform water supply management in developed nations – A review of literature, conceptual model and research agenda. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 47–56, 2009.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta pedológica da quadricula de São Carlos**. Folha SF.23-Y-A-I. Escala 1:100.000. 1981.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta pedológica da quadricula de Descalvado.** Folha SF.23-V-C-IV. Escala 1:100.000. Instituto Agronômico de Campinas, 1982.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas topográficas**. Folhas SF 23-Y-A-I-1, SF-23-Y-A-I-2, SF-23-V-C-IV-3, SF-23-V-C-IV-4. Escala 1:50.000. 1971.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens.** LANDSAT, 1986, 1996. Disponível em < www.inpe.br >. Acesso em 09.04.2010.

JAEGER, J. A. G. *et al.* Suitability criteria for measures of urban sprawl. **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 397–406, 2010.

JAT, M. K.; GARG, P. K.; KHARE, D. Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.10, n. 1. p. 26–43, 2008.

JAT, M. K.; *et al.* Urbanization and its impact on groundwater: a remote sensing and GIS based assessment approach. **Environmentalist**, n. 29, p. 17–32, 2009.

JAXA – EARTH OBSERVATION RESEARCH CENTER - **Satélite ALOS** - Advanced Land Observing Satellite. Disponível em < http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index.htm>. Acesso em: 08.09.2008.

JOURAVLEV, A. **Los municipios y la gestión de los recursos hídricos.** Serie Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe, n. 66, 2003.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento.** 1 ed. Curitiba: Organic Trading, 2008.

LACERDA, N; *et al.* Planos Diretores Municipais. Aspectos Legais e Conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais***,* v. 7 n. 1, p. 55-72, Maio 2005.

LEE, T. R. Urban water management for better urban life in Latin America. **Urban Water**, vol. 2, n. 1, p. 71–78, 2000.

LERNER, D.N.; HARRIS, B. The relationship between land use and groundwater resources and quality. **Land Use Policy**, v. 26, supl.1, p. 265–273, 2009.

LIMA, R. P. **O processo e o (des)controle da expansão urbana de São Carlos (1857 – 1977).** 2007. Dissertação (Mestrado) – Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LIMONAD, E. **Regiões urbanas e questão ambiental.** In: XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu, 2008.

LIU, Y. *et al.* An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe. **Landscape and Urban Planning**, v. 82, n. 4, p. 233-246, 2007.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras. **Revista de Gestão de Águas da América Latina - REGA**, v. 4, n. 1, p. 5–28, jan./jun. Porto Alegre, 2007.

LÓPEZ *et al.* Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. **Landscape and Urban Planning**, v. 55, n.4, p. 271–285, 2001.

MCCARTHY, G. **A total maximum daily load analysis for Eagleville Brook, Mansfield**. State of Connecticut, Department of Environmental Protection, 2007.

MACHADO, F. H. **"Valoração econômica dos recursos ambientais da bacia hidrográfica do córrego do Feijão - São Carlos, SP".** (2010) Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, Universidade Federal de Itajubá.

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v. 24, n. 2, p. 181–190, jul./dez. São Paulo, 2007.

MARTINE, L. C. P.; LANNA, A. E. Medidas compensatórias aplicáveis à questão da poluição hídrica de origem agrícola. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8 n.1, p. 111–136, Jan/Mar 2003.

MARTINS, O. S. **Determinação do potencial de seqüestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP.** 2004. Tese (Doutorado) - Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MONTES, L.M.V.; RUIZ, A. M. Environmental indicators to evaluate spatial and water planning in the coast of Granada (Spain). **Land Use Policy**, v. 25, p. 95–105, 2008.

MORENO-MATEOS, D.; COMIN, F. A. Integrating objectives and scales for planning and implementing wetland restoration and creation in agricultural landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2087-2095, 2010.

NDUBISI, F.; DEMEO, T.; DITTO, N. Environmentally sensitive areas: a template for developing greenway corridors. **Landscape and Urban Planning**, v. 33, p. 159-177, 1995.

NIELSEN-PINCUS, M.; GOLDBERG, C. S.; POCEWICZ, A.; FORCE, J. E.; WAITS, L. P.; MORGAN, P.; VIERLING, L. Predicted effects of residential development on a northern Idaho landscape under alternative growth management and land protection policies. **Landscape and Urban Planning**, v. 84, n. 3 e 4, p. 255-263, 2010.

NIJS, T. C. M. DE; NIET, DE R; CROMMENTUIJN, L. Constructing land-use maps of the Netherlands in 2030. **Journal of Environmental Management**, v. 72, p. 35–42, (2004).

NISHIYAMA, L. **Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos – SP.** 1991. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

OLIVEIRA, J. A. **Análise da quantidade de sedimentos em bacia hidrográfica - Estudo do caso do caso do córrego do Feijão em São Carlos, SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.

OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na cidade de são Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes:** diagnóstico e propostas. 1996. Dissertação (Mestrado) – Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada.** 3 ed. Piracicaba: FEALQ, 2008.

PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F. G. B.; PEREIRA, J. C. D. Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, 2010, (*no prelo*).

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 56/01, 2004.

PELÁEZ-RODRÍGUES, M. **Avaliação da qualidade da água da bacia do alto Jacaré-Guaçu/SP (ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas.** 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEREIRA, P. R. G. **Cenários de ocupação urbana em bacia hidrográfica utilizada como manancial.** Estudo do caso córrego do Feijão utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Relatório de iniciação científica, PIBIC/CNPq, 2010.

PONS, N. A. D.; PEJON, A. J.; ZUQUETTE, L. V. Use of geoprocessing in the study of land degradation in urban environments: the case of the city of São Carlos, state of São Paulo, Brazil. **Environmental Geology**, v. 53, n. 4, p. 727-739, 2007.

PUTRA, D. P. E.; BAIER, K. **The impact of urbanization on groundwater quality. A case study in Yogyakarta City – Indonésia.** 2007. Disponível em: <http://www.germany-wuf4.de/dokumente/10_dfg/11_2008january/10.11.2_en_dfg_publication_impact_of_urbanization_on_groundwater_recharge.pdf>. Acesso em: 13. 01. 2010.

RANDHIR, T.; EKNESS, P. Urbanization effects on watershed habitat potential: a multivariate assessment of thresholds and interactions. **Ecohydrology**. v. 2, p. 88–101, 2009.

REIS, L. V. S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba**. 2004. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROGERS, P. P.; LLAMAS, M. R.; CORTINA, L. M. **Water crisis: myth or reality?** 1 ed. Taylor & Francis, 2006.

ROLNIK, R. La democracia em el filo de la navaja: limites y posibilidades para la implementación de uma agenda de reforma urbana en Brasil. **Eure**, Sección Artículos, vol. XXXV, n. 104, abril, 2009.

SAAE. SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO CARLOS, SP. **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água de São Carlos – SP**. SEREC – Serviço de Engenharia Consultiva LTDA, v. 1, 1989.

SAAE (a) SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO CARLOS, SP. **Relatórios de produção de água de 1994 a 2009.** (mensagem pessoal) Mensagem recebida de: <sca@saaesaocarlos.com.br>. em: 28.01.2010.

SAAE (b). SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO CARLOS, SP. **A rede de água em São Carlos.** Disponível em: **<**http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/redeagua.htm**>**. Acesso em 18.05.2010.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO CARLOS. **Plano Diretor Municipal de São Carlos - 2005.** Texto extraído do site oficial da Prefeitura Municipal de São Carlos/SP: Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/utilidade-publica/plano-diretor.html>. Acesso em 07.04.2010.

SÃO PAULO. **Lei n° 9.866.** Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do estado de São Paulo. São Paulo, SP, 28 de novembro de 1997.

SÃO PAULO. **Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo**: ano base 2007. Secretaria do Meio Ambiente; Coordenadoria de Recursos Hídricos. São Paulo: SMA/CRH, 2009.

SCANLON, B. R. *et al.* Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. **Water Resources Research**, v. 43, W03437, doi:10.1029/2006WR005486, 2007.

SCHOONOVER. J. E.; LOCKABY, B. G.; PAN, S. Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in Western Georgia. **Urban Ecosystems**, v. 8, n. 1, p. 107–124, 2005.

SCHUELER, T.; The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**. v.1, n 3, p. 100-111, 1994.

SCHUELER, T.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPPIELLA, K. Is Impervious Cover Still Important? Review of Recent Research. **Journal of Hydrologic Engineering**. v. 14, n. 4. p. 309-315, 2009.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados censitários de população**. Disponível em: **<** http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=tabela**>**. Acesso em 25.02.2010.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SILVA, C. A. Apontamentos teóricos para uma geografia econômica dos recursos hídricos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 24, p. 137–149, 2008.

SILVA, R.T.; FOLEGATTI, M.V.; SANTOS, D.G. **Pagamentos por serviços ambientais (PSA) no âmbito dos comitês das bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari e jundiaí.** (2009). Disponível em:

<http://www.ana.gov.br/Produagua/LinkClick.aspx?fileticket=GbhUOXcN0eo%3d&tabid=691&mid=1504>. Acesso em: 01.02.2010.

SOARES, A. M. *et al.* **Aplicação de geotecnologias na identificação de conflitos entre uso da terra e legislação ambiental.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE, 2007.

SOARES-FILHO, B.S. *et al.* Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, 23.03.2006.

TANG, Z.; ENGEL, B. A.; PIJANOWSKI, B. C.; LIM, K. J. Forecasting land use change and environmental impact at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, v. 76, n. 1, p. 35-45, 2005.

TARPANI, R. R. Z. **Análise ambiental de micro-bacia hidrográfica visando a prevenção de danos ambientais e econômicos.** 2008. Monografia - (Graduação), Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

TAVANTI, D. R.; MOURA DE S.; AZEVEDO, F. Z.; MEDVEDCHIKOFF, T. G.; DEUS, L. R.; MOREIRA, M. A. A.; LORAND, R.; CANÇADO, C. J.; MARTINS, M. M. R. Estudo da vulnerabilidade de contaminação de aquíferos por agrotóxicos, na região de Analândia e Descalvado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, vol. 14, n. 1, p. 53-61, 2009.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística.** Tradução de Vera Regina Lima de Farias e Flores. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TUNDISI, J. G. O futuro dos recursos hídricos. Instituto Internacional de Ecologia. **Multiciência**, n. 1, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; GALLI, C. S. (ed.). **Eutrofização na América do Sul**: causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. 1 ed. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T.; DUPAS, F. A.; SOUZA, A. T. S.; SHIBATTA, O. A.; FREITAS, N. M.; AFONSO, G. F.; MOURA, S.; PERASCHI, D. C.; TUNDISI, J. E.; FROLLINI, E. H.; HAEBHLING, P. H. V.; MEDEIROS, G. R.; GREEMBERG, D.; BLANCO, F. P.; SILVA, A. F.; SILVÉRIO, E. **Uso atual e potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural.** Instituto Internacional de Ecologia. FAPESP - Políticas Públicas – Processo 98/10924-3, 2007.

TUNDISI, J. G. **Impactos do novo Código Florestal**. Disponível em: < http://www.agencia.fapesp.br/materia/12572/impactos-do-codigo-florestal-sao-analisados.htm>. Acesso em: 08.09.2010.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: Unesco, 192p, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. **Revista de Gestão de Águas da América Latina - REGA**, vol. 5, n. 2, p. 71–81, jul./dez. Porto Alegre, 2008.

WANG, L.; LYONS, J. KANEHL, P. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. **Environmental Management**, vol. 28, n. 2, p. 255–266, 2001.

WEATHERHEAD, E.K.; HOWDEN, N. J.K. The relationship between land use and surface water resources in the UK. **Land Use Policy**, v. 26, s. 1, p. 243–250, 2009.

WILSON, J. S. *et al.* Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 303–321, 2003.

XIAN, G.; CRANE, M.; SU, J. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed**. Journal of Environmental Management**, v. 85, n. 4, p. 965–976, 2007.

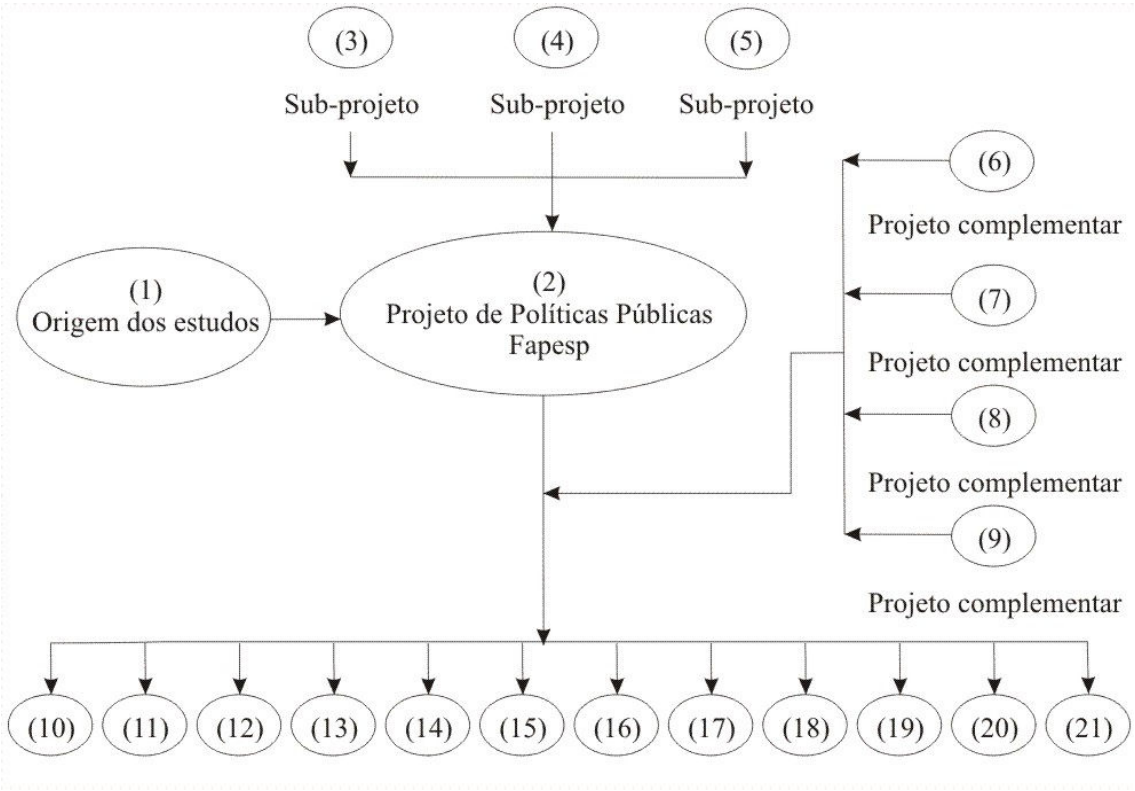
ZIELINSKI, J. **Watershed Vulnerability Analysis.** 2010. Center for Watershed Protection. Ellicott City. Disponível em: < http://www.dnr.state.md.us/watersheds/pubs/planninguserguide/tools/Tool12WatershedVulnerability.pdf> Acesso em: 15.01.2010.

ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos.** 1981. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B.; PEJON, O. J. Initial assessment of the infiltration and overland flow for different rainfall events in land constituted of sandstones of the Botucatu Formation (Guarani Aquifer), State of São Paulo, Brazil. **Environmental Geology,** v. 50, n. 3, p. 371-387, 2006.

ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B.; PEJON, O. J. Methodology to assess groundwater pollution conditions (current and pre-disposition) in the São Carlos and Ribeirão Preto regions, Brazil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 68, n. 1, p. 117-136, 2009.

ANEXO I – Estrutura dos trabalhos desenvolvidos no manancial do ribeirão do Feijão



( ) Origem dos projetos, dissertações e iniciações científicas - referências a seguir.

■ (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14)- Projetos de pesquisa já concluídos com apoio da Fapesp, Fapemig, CNPq e Capes.

■ (15), (16) (17), (18) - Projetos de pesquisa a concluir até outubro de 2010 com apoio do CNPq e Capes.

■ (19), (20) - Projetos de pesquisa a concluir até outubro de 2011 com apoio da Capes.

■ (21) - Projeto de pesquisa a concluir até outubro de 2012 com apoio da Capes.

(1)

DUPAS, F. A. (2001). "Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP". Relatório de pós-doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg.

(2)

MOLINA Jr., V. E. (2003). Recursos Hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP - Estudo multitemporal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:– .processo n. 01/02562-9, 104 pg.

(3)

POLI, M. N. (2004). "A geografia do espaço vivido: Análise do uso social do solo urbano - estudo de caso na cidade de São Carlos, SP". Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:–.processo n. 01/08369-6, 229 pg.

(4)

COSTA, I. G. D. D. (2006). "Análise da perda de solo através de SIG e sensoriamento remoto. Estudo do caso de Santa Rita do Sapucaí, MG". Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Itajubá.

(5)

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A.; SILVA-SOUZA, A. T.; SHIBATTA, O. A. (2007). "Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural". Relatório final de projeto de pesquisa FAPESP de Políticas Públicas proc. 98/10924-3. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 95 pg.

(6)

SUB-PROJETO (2007) - "Diagnóstico e prognóstico da qualidade da água dos rios que compõe as bacias hidrográficas do município de São Carlos (SP) relacionados com uso e ocupação do solo", Proc. 98/10924-3;

(7)

SUB-PROJETO (2007) - "Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Córrego do Feijão", Proc. 98/10924-3.

(8)

SUB-PROJETO (2007) – "Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do córrego do Feijão", Proc. 98/10924-3.

(9)

AFONSO, G. F. (2008). "Integração de dados baseada em ontologia", Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.

(10)

RODRIGUES, G. O. (2009). "Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as

abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy". Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(11)

DUPAS, F. A. (2009). "Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG". Relatório final de projeto CNPq n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-2. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática NEPA - IRN –UNIFEI, maio, Volumes I de II, 243 pg.

(12)

PAES, F. S. (2010). "Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão". Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 60 pg.

(13)

PEREIRA, P. R. G.. (2010). "Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do córrego do Feijão, São Carlos, SP". Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(14)

PEREIRA, J. C. (2010). "Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, MG". Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 116 pg.

(15)

SPERANDELLI, DANIEL IOZZI (2008). Dinâmica e análise do crescimento, dos vazios e das áreas verdes urbanas de Atibaia, SP". Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.

(16)

COSTA, CARLOS WILMER (2008). "Expansão da mancha urbana e suas conseqüências sobre mananciais de São Carlos, SP". Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(17)

CUNHA, ROGÉRIO COLI DA (2008). "Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do córrego do Feijão - São Carlos, SP". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de

Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(18)

OLIVEIRA, JULIANA APARECIDA (2008). "Análise da perda de solo em bacia hidrográfica manancial do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.(19)

(19)

MACHADO, FERNANDO HENRIQUE (2009). "Valoração econômica dos recursos ambientais da bacia hidrográfica do córrego do Feijão - São Carlos, SP". Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(20)

LUZ, F. G. F. (2010). "Áreas de Proteção Permanente e sua capacidade de assistir aos corpos d'água - Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

ANEXO II – Projeto de Lei que dispõe sobre a criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município - APREM

Prefeitura Municipal de São Carlos

Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano

PROJETO DE LEI

DISPÕE SOBRE A CRIAÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS MANANCIAIS DO MUNICÍPIO, APREM E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS.

O Prefeito Municipal de São Carlos, faz saber que a Câmara Municipal aprovou e ele sanciona e promulga a seguinte Lei:

CAPÍTULO I

DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS MANANCIAIS DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - APREM-SC

Art. 1º - Ficam instituídas as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos - APREM-SC, como áreas de relevante interesse ecológico municipal, destinadas ao cumprimento da função social e ambiental de proteção, preservação e conservação do abastecimento de água com qualidade.

Parágrafo único. As delimitações das APREM-SC constam no mapa denominado Anexo 1 da presente Lei, e correspondem à:

I - Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho a montante da Estação de captação de água do Espraiado;

II - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, dentro do município de São Carlos, a montante da Estação de captação de água para abastecimento público de São Carlos.

Art. 2º - As APREM-SC serão objeto de Planejamento e Gestão articulados com os Sistemas de Meio Ambiente, de Saneamento e de Desenvolvimento Municipal.

§ 1º - Os órgãos da Administração Pública direta e indireta serão co-responsáveis pelo planejamento e gestão das APREM-SC sendo que o órgão colegiado de caráter consultivo e deliberativo será o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente – COMDEMA.

§ 2º - A execução desta Lei fica atribuída à Prefeitura Municipal e órgãos e autarquias do Município, responsáveis pelo licenciamento, fiscalização e monitoramento das atividades e dos empreendimentos, a serem implantados nas APREM-SC, sem prejuízo da atuação de órgãos estaduais e federais.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

§ 3º - Observadas as disposições desta Lei, fica facultado ao Poder Executivo, a instituição de áreas sobrepostas, interseccionadas, anexas ou distintas, de proteção e recuperação de mananciais de água no Município, por ato específico expedido na forma desta Lei, delimitando-as por tecnologia cartográfica adequada.

Art. 3º - Nas APREM-SC, dependerão de licenciamento ambiental específico em nível municipal, a ser disciplinado em regulamento, sem prejuízo de outras exigências previstas em Lei:

I - as atividades utilizadoras de recursos ambientais;

II - parcelamento do solo,

III - a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

§ 1º - Para a garantia da qualidade e quantidade das águas das APREM-SC, fica vedada a implantação de atividades industriais químicas, petroquímicas, nucleares e extração mineral e de outras que possam comprometer a integridade das mesmas.

§ 2º - Qualquer captação de água realizada nos corpos d'água das APREM-SC, não poderá, em momento algum, prejudicar a disponibilidade do abastecimento público e a manutenção das funções ecológicas.

CAPÍTULO II DOS OBJETIVOS

Art. 4º - São Objetivos desta Lei:

I - promover o pleno desenvolvimento da função social de abastecimento da população por meio da proteção e recuperação da qualidade e da quantidade das águas superficiais que compõem as APREM-SC, principalmente, por meio da recomposição da vegetação ciliar, ripária ou de galeria;

II - implementar a gestão participativa das APREM-SC integrando setores e instâncias governamentais e a sociedade civil, com vistas à proteção e recuperação desses mananciais;

III - incentivar a implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação dos mananciais citados nesta Lei, disciplinando o uso e a ocupação do solo nas APREM – SC;

IV - garantir os instrumentos que proporcionem a articulação dos programas e políticas municipais, especialmente os referentes à habitação, transporte, saneamento ambiental, infra-estrutura e manejo de recursos naturais à preservação do meio ambiente.

CAPÍTULO III DAS DEFINIÇÕES

Art. 5º - Para os efeitos desta Lei serão adotadas as seguintes definições:

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

I - Bacia Hidrográfica: determinada área de terreno que drena água, partículas de solo e material dissolvido para uma seção de saída comum situada ao longo de um corpo da água;

II - Sistema de Saneamento Ambiental: conjunto de políticas, de ações e de infra-estruturas que compreendem os sistemas de abastecimento de água; de coleta, afastamento e tratamento de esgotos de coleta e destinação final adequada de resíduos sólidos; e de drenagem de águas pluviais, sem causar erosões e outros danos ambientais;

III - Coeficiente de Ocupação: é a relação existente entre a área da projeção da edificação no solo e a área total do terreno;

IV - Coeficiente de Aproveitamento:é a relação existente entre a área edificável e a área total do terreno;

V - Coeficiente de Permeabilidade: é a relação existente entre a área permeável de um determinado terreno e a sua área total;

VI - Coeficiente de Cobertura Vegetal: é a relação existente entre a área coberta por vegetação arbórea ou arbustiva de um determinado terreno e a sua área total;

VII - Resíduos Classe I: apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (NBR 10.004/04);

VIII - Resíduos Classe II: aqueles com propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (NBR 10.004/04);

IX - Resíduos Classe III: aqueles inertes e que quando submetidos ao teste de solubilização não contenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água (NBR 10.004/04);

X - Poço Absorvente: dispositivo de infiltração no solo destinado a absorver as águas pluviais incidentes em um determinado lote ou em determinada área, com o intuito de minimizar o impacto e reduzir o volume de águas que se conectam ao sistema público de drenagem ou cujo escoamento possa comprometer a integridade do meio ambiente;

XI - Pavimento Permeável: tipo de pavimentação que possibilita maiores índices de infiltração de águas pluviais no solo, seja pela porosidade do próprio material que compõe o pavimento, pelas juntas com material granular (areia) ou pela alternância com vegetação rasteira (grama).

CAPÍTULO IV DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º - São instrumentos de planejamento e gestão das APREM:

I - as Áreas de Controle e suas respectivas diretrizes e normas de planejamento e gestão da bacia;

II - as normas para a implantação de infra-estrutura e dos serviços do sistema de saneamento ambiental;

III - o Plano Diretor do Município de São Carlos - Lei Municipal nº 13.691, de 25 de novembro de 2.005 e Lei Municipal nº 6808 de 26 de agosto de 1971 que trata dos Loteamentos;

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

IV - Lei de Edificações - Lei Municipal n. 6.910, de 10 de março de 1.972 e alterações posteriores;

V - os mecanismos de compensação ambiental;

VI - o licenciamento e a fiscalização de empreendimentos, parcelamento, uso e ocupação do solo;

VII - a imposição de penalidades por infrações às disposições da presente Lei;

VIII - a revisão das atividades efetiva e potencialmente poluidoras;

IX - o Estudo de Impacto Ambiental (EIA);

X - o Sistema de Monitoramento da Qualidade Ambiental;

XI - a Política de Educação Ambiental para as APREM-SC.

CAPÍTULO V DAS ÁREAS DE CONTROLE

Art. 7º - Ficam criadas as seguintes Áreas de Controle nas APREM-SC para a aplicação de dispositivos normativos de proteção, conservação, preservação e recuperação dos mananciais e a implementação de políticas públicas:

I - Áreas de Preservação;

II - Áreas de Ocupação Dirigida;

III - Áreas de Recuperação Ambiental.

§ 1º - As delimitações das Áreas de Controle constam no mapa denominado Anexo 2 desta Lei.

§ 2º - As Áreas de Recuperação Ambiental serão reenquadradas em Áreas de Preservação ou de Ocupação Dirigida, quando comprovada a sua efetiva recuperação ambiental.

Art. 8º As Leis Municipais de ordenamento efetivado por meio do planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano e rural, deverão obedecer aos dispositivos ambientais e urbanísticos dispostos nesta Lei, considerados de interesse municipal.

Seção I

Das Áreas de Preservação

Art. 9º - São Áreas de Preservação, além das definidas por Lei como de preservação permanente, aquelas de interesse para a proteção dos mananciais e para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais da bacia, compreendendo as seguintes sub-áreas:

I - Sub - área de Preservação 1 - SAPRE 1 – são aquelas definidas como de preservação permanente de acordo com a legislação federal, estadual e municipal, compreendidas nos limites das APREM-SC, com princípios previstos nesta Lei.

II - Sub - área de Preservação 2 - SAPRE 2 - são aquelas constituídas de uma faixa de 50,00m (cinqüenta metros) a partir da SAPRE 1, de especial interesse para sua

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

preservação e conservação, servindo de área de transição entre as Áreas de Preservação e as Áreas de Ocupação Dirigida.

§1º. O porcentual mínimo de 18 % (dezoito por cento) de áreas públicas provenientes de urbanização do solo, previsto no Art. 98 da Lei Municipal n. 13.691/05, não poderá ser implantado na Sub-área de Preservação 1 - SAPRE 1.

§2º. As áreas contidas em SAPRE 2, que exerçam as funções previstas no inciso II deste artigo, serão destinadas preferencialmente à compensação ambiental, nos termos do Capítulo VI desta Lei.

Art. 10 - Considera-se de Preservação Permanente:

I - as áreas, vegetadas ou não, situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de 50,00 m (cinqüenta metros) em cada margem;

b) as nascentes, ainda que intermitentes e nos "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 70,00 (setenta metros) de largura;

c) ao redor de lagoas, lagos e reservatórios de água naturais ou artificiais, com largura mínima de 50,00 m (cinqüenta metros);

d) as encostas ou parte destas, com declividade superior a 45º (quarenta e cinco graus);

e) as bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100,00 m (cem metros) em projeções horizontais.

II - as áreas cobertas por matas e todas as formas de vegetação nativa primária ou secundária nos estágios médio e avançado de regeneração;

III - as áreas de várzea;

IV - as áreas que forem objeto de compensação ambiental, conforme artigo 29 desta Lei.

Art. 11 - São admitidos nas SAPRE 1, sem prejuízo de restrições estabelecidas em outras legislações mais restritivas e desde que autorizadas ou licenciadas pelos órgãos competentes:

I - atividades de contemplação da natureza, educação ambiental e pesquisa científica que não exijam edificações;

II - instalação dos sistemas de drenagem, captação e abastecimento de água, coleta, transporte e afastamento de efluentes;

III - serviços e obras destinados à proteção, preservação, conservação ou recuperação do manancial, à regularização das vazões e ao controle de cheias e inundações;

IV - intervenções visando à proteção, preservação, conservação ou recuperação das APREM-SC ;

V - pesca recreativa;

VI - manejo sustentável da vegetação, exclusivamente para fins de preservação e

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

conservação da fauna e flora;

VII - transposição de infra-estrutura.

Art. 12 - São permitidos nas SAPRE 2, além das atividades permitidas nas SAPRE 1:

I - reflorestamento e extração vegetal;

II - atividades agrosilvopastoris com projeto de manejo aprovado pelos órgãos competentes;

III - atividades de esportes, cultura e lazer, mediante aprovação dos órgãos competentes;

IV - tratamento de efluente com cargas poluidoras, quando essencial para o controle e recuperação da qualidade das águas.

Parágrafo único. As atividades definidas neste artigo, assim como os usos não previstos, deverão ser autorizados pelos órgãos competentes.

Art. 13 - Nas Áreas de Preservação não será permitido o uso e o armazenamento de produtos em condições que possam colocar em risco a integridade e a qualidade dos corpos d'água.

Seção II

Das Áreas de Ocupação Dirigida

Art. 14 - São Áreas de Ocupação Dirigida aquelas de interesse para a consolidação ou a implantação de usos urbanos ou rurais, desde que atendidos os requisitos que assegurem a manutenção das condições ambientais necessárias à produção de água em quantidade e qualidade para o abastecimento público.

Art. 15 - Áreas de Ocupação Dirigida compreendem as seguintes Sub-áreas:

I - Sub-área de Urbanização Consolidada - SUC: é composta pelas áreas urbanas consolidadas, pelos empreendimentos de parcelamento do solo já aprovados pelos órgãos competentes, e por glebas localizadas dentro da Zona 3B – Zona de Recuperação e Ocupação Controlada e parte da Zona 2 – Zona de Ocupação Condicionada, definidas no Plano Diretor do Município de São Carlos, Lei Municipal nº 13.691 de 25 de novembro de 2005;

II - Sub-área de Uso e Ocupação Diferenciada – SUD: é composta predominantemente por imóveis rurais localizados à montante da Estação de Captação do Espraiado, devendo ser planejada e monitorada de acordo com o disposto na Legislação pertinente;

III - Sub - área de Baixa Densidade – SBD: é composta predominantemente por espaços livres e áreas verdes destinadas preferencialmente a sítios, chácaras de lazer e turismo local, localizados a montante da captação do Ribeirão do Feijão.

Art. 16 - São diretrizes para o planejamento e a gestão das SUCs:

I - minimizar os impactos negativos decorrentes da urbanização consolidada sobre as SAPRE 1 e 2;

II - garantir a melhoria do sistema público de saneamento ambiental;

III - prevenir e corrigir os processos erosivos;

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

IV - recuperar o sistema de áreas públicas, considerando os aspectos paisagísticos, urbanísticos e ambientais;

V - promover a adaptação das ocupações irregulares em relação às disposições desta Lei, mediante ações integradas entre o setor público, o setor privado e os moradores locais.

Art. 17 - Nos parcelamentos regulares já existentes, localizados nas SUCs, fica estabelecido que:

I - é vedado o desdobro de lote;

II - a aprovação de novas edificações ficará condicionada à implantação de poço absorvente para as águas pluviais incidentes no lote;

III - as edificações devem adotar o CA - Coeficiente de Aproveitamento de 1 (um), com o máximo 2 (dois) pavimentos, salvo valores mais restritivos previstos em outros dispositivos legais pertinentes;

IV - o CA - Coeficiente de Aproveitamento deverá ser de 1,4 (um vírgula quatro) apenas para os programas destinados às Habitações de Interesse Social, com o máximo de 2 (dois) pavimentos;

V - os valores máximos para os CO - Coeficientes de Ocupação e o CP - Coeficiente Mínimo de Permeabilidade, de acordo com a dimensão dos lotes, devem obedecer a seguinte tabela:

Área do lote (m²)	Coeficiente de Ocupação (valores máximos)	Coeficiente de Permeabilidade (valores mínimos)
125,00 m²	70%	15%
de 125,01 a 300,00 m²	Variação de 70% a 50%	Variação de 15% a 30%
maior que 300,00 m²	50%	30%

VI - o CCV - Coeficiente de Cobertura Vegetal, com espécies arbóreas ou arbustivas, preferencialmente nativas, tanto para o lote, como nas áreas públicas do empreendimento, e que não estejam na SAPRE 2, deve ser igual ou maior que 10% (dez por cento);

VII - fica obrigatória a implantação de pavimentos permeáveis, ou com baixo coeficiente de escoamento nas vias de circulação secundárias e nos passeios públicos.

Parágrafo único. Na implantação de pavimentos de que trata o Inc. VII, poderão ser utilizados os pavimentos impermeáveis nas vias arteriais ou de circulação de transporte coletivo, de acordo com o estabelecido pelos órgãos técnicos municipais competentes.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Art. 18. Nas glebas remanescentes internas às (crase) SUCs, em caso de parcelamento do solo, além do disposto no artigo art. 17, devem ser obedecidos os seguintes requisitos:

I - lote mínimo de 500,00 m² (quinhentos metros quadrados);

II - o CCV - Coeficiente de Cobertura Vegetal, de 20% (vinte por cento), com espécies arbóreas ou arbustivas, preferencialmente nativas tanto para o lote, como nas áreas públicas do empreendimento, e que não estejam na SAPRE 2;

III - a conservação e a manutenção dos maciços vegetais de porte arbóreo já existentes nas glebas;

IV - a implantação de sistema de drenagem que contemple as condições adequadas de recepção das águas a montante da gleba, bem como a forma adequada de dispô-las a jusante, adotando-se dispositivos de contenção de resíduos e de dissipação de energia.

Art. 19 - São permitidos nas SUCs os usos disciplinados pela legislação municipal de parcelamento, uso e ocupação do solo, devendo ser observadas as disposições dos artigos 17 e 18.

Art. 20 - São diretrizes para o planejamento e gestão da SUD: (adequação de texto para ficar no mesmo formato do art.16)

I - evitar o processo de ocupação intensiva;

II - prevenir e corrigir os processos erosivos, degradantes e poluentes;

III - garantir nos planos de parcelamento e ocupação:

a) soluções alternativas que proporcionem maior coeficiente de infiltração e retenção das águas pluviais, tanto nos sistemas de drenagem das áreas de uso coletivo quanto nas áreas privativas distribuídas no empreendimento;

b) a preservação e a conservação dos agrupamentos vegetais de porte arbóreo existentes que deverão ser destinados parcial ou totalmente como áreas de uso público.

IV - vincular a implantação de novos empreendimentos à instalação de infra-estrutura de saneamento ambiental eliminando qualquer impacto em relação à preservação da integridade ambiental do manancial.

Art. 21 - Constituem parâmetros urbanísticos básicos para o parcelamento do solo e a instalação de usos residenciais ou não residenciais na SUD:

I - Lote mínimo de 1.500 m² (um mil e quinhentos metros quadrados);

II - CA - Coeficiente de Aproveitamento máximo de 0,25 (zero vírgula vinte e cinco);

III - CO - Coeficiente de Ocupação máxima de 25% (vinte e cinco por cento);

IV - CP - Coeficiente de Permeabilidade mínimo de 50% (cinqüenta por cento);

V - CCV - Coeficiente de Cobertura Vegetal mínimo de 50% (cinqüenta por cento), composto por espécies arbóreas ou arbustivas, preferencialmente nativas, tanto para o lote como para as áreas públicas do empreendimento;

VI - a conservação e a manutenção dos maciços vegetais de porte arbóreo já

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

existentes nas propriedades;

VII - a implantação de sistema de drenagem que contemple as condições adequadas de recepção das águas a montante da gleba, bem como a forma adequada de dispô-las a jusante, adotando-se dispositivos de contenção de resíduos e de dissipação de energia.

VIII - a implantação de pavimentos permeáveis, ou com baixo coeficiente de escoamento, nas vias de circulação secundárias e nos passeios públicos;

Parágrafo único. Na implantação de pavimentos de que trata o Inc. VIII, poderão ser utilizados pavimentos impermeáveis nas vias arteriais ou de circulação de transporte coletivo, de acordo com o estabelecido pelos órgãos técnicos municipais competentes.

Art. 22 - São permitidos na SUD os usos disciplinados pela legislação municipal de parcelamento, uso e ocupação do solo, observadas as disposições dos artigos 20 e 21 (referência correta dos artigos) desta Lei.

Art. 23 - São diretrizes para o planejamento e a gestão da SBD:

I - promover a preservação e recomposição da flora, bem como a preservação e a reintrodução, devidamente autorizada, da fauna nativa;

II - valorizar as características cênico-paisagísticas naturais existentes;

III - controlar a expansão dos núcleos urbanos existentes;

IV - criar programas de fomento e apoio às atividades rurais de baixo impacto ambiental e com alta agregação de valor associado a práticas conservacionistas, agroecológicas, turísticas e recreacionais;

V - controlar a implantação e a melhoria de vias de acesso de modo a não atrair a ocupação inadequada, protegendo os mananciais e áreas especialmente protegidas;

VI - disciplinar a implantação de empreendimentos e da prática do turismo ecológico de modo a não comprometer a integridade dos mananciais.

Art. 24 - Constituem parâmetros urbanísticos básicos para o parcelamento do solo e a instalação de usos, residenciais ou não residenciais na SBD:

I - Lote mínimo de 3.000 m² (três mil metros quadrados);

II - CA - Coeficiente de Aproveitamento máximo de 0,25 (zero vírgula vinte e cinco);

III - CO - Coeficiente de Ocupação máxima de 25% (vinte e cinco por cento);

IV - CP - Coeficiente de Permeabilidade mínimo de 50% (cinqüenta por cento);

V - CCV - Coeficiente de Cobertura Vegetal mínimo de 50% (cinqüenta por cento), composto por espécies arbóreas ou arbustivas, preferencialmente nativas, tanto para o lote como para as áreas públicas do empreendimento;

VI - a conservação e a manutenção dos maciços vegetais de porte arbóreo já existentes nas propriedades;

VII - a implantação de sistema de drenagem que contemple as condições adequadas de recepção das águas a montante da gleba, bem como a forma adequada de dispô-

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

las a jusante, adotando-se dispositivos de contenção de resíduos e de dissipação de energia.

VIII - a implantação de pavimentos permeáveis, ou com baixo coeficiente de escoamento, nas vias de circulação secundárias e nos passeios públicos.

Parágrafo único. Na implantação de pavimentos de que trata o Inc. VIII, poderão ser utilizados pavimentos impermeáveis nas vias arteriais ou de circulação de transporte coletivo, de acordo com o estabelecido pelos órgãos técnicos municipais competentes.

Art. 25 - São permitidos na SBD os usos disciplinados pela legislação municipal de parcelamento, uso e ocupação do solo, observado o disposto nos artigos 23, 24 e parágrafo único do artigo 26.

Art. 26 - São diretrizes para o planejamento e a gestão das sub - áreas denominadas SUD e SBD:

I - prevenir e corrigir os processos erosivos, degradantes e poluentes;

II - implementar soluções alternativas que proporcionem maior coeficiente de infiltração e retenção das águas pluviais, viabilizando a eliminação do seu impacto nos cursos d'água;

III - preservar e conservar os agrupamentos vegetais de porte arbóreo existentes e aqueles que serão implementados nas SAPREs 1 e 2;

Parágrafo único. São vedadas as seguintes atividades nas sub – áreas referidas no *caput* deste artigo:

I - a dessedentação de animais domésticos e de criação diretamente nos corpos d'água;

II. a utilização de agrotóxicos que possam comprometer a qualidade dos mananciais;

III. a utilização de práticas de adubação e correção de solos sem orientação de profissional técnico capacitado;

IV. o lançamento de efluentes de estábulos, granjas, currais ou qualquer outro estabelecimento gerador de dejetos animais diretamente nos corpos d'água sem prévio tratamento;

V. práticas agrosilvopastoris que promovam a aceleração do processo erosivo;

VI. a queimada da vegetação para quaisquer fins.

Seção III

Das Áreas de Recuperação Ambiental

Art. 27 - São Áreas de Recuperação Ambiental - ARA - aquelas cujos usos ou ocupações estejam comprometendo a fluidez, a potabilidade, a quantidade ou a qualidade dos mananciais que trata esta Lei e que necessitem de intervenção de caráter corretivo.

Parágrafo único. Consideram-se ARA:

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

I - as situações e as ocorrências de usos urbanos ou não, desprovidos de infra-estrutura de saneamento ambiental, onde o Poder Público deverá promover programas ou exigir as intervenções necessárias para a recuperação ambiental;

II - áreas degradadas, urbanas e rurais, decorrentes de empreendimentos e ocupações públicas ou privadas, para as quais serão exigidas dos responsáveis, públicos ou privados, ações de recuperação imediata dos danos ambientais, até torná-las adequadas às suas finalidades ecológico-ambientais.

Art. 28 - A ARA será objeto de um Programa de Recuperação, por iniciativa do Poder Público, do COMDEMA ou do Ministério Público, no sentido de reivindicar a recuperação de áreas degradadas pertencentes a agentes privados ou públicos.

Parágrafo único. No Programa de Recuperação deverão constar as caracterizações da área, a apresentação dos projetos e das ações, a comprovação dos custos, os executores responsáveis, os recursos financeiros para sua implementação, além de garantir:

I - a implantação das correções, adequações ou infra-estruturas necessárias à recuperação da área com a mitigação dos efeitos nocivos à preservação da integridade ambiental do manancial;

II - a prevenção e correção dos processos erosivos;

III - a recuperação das áreas degradadas;

IV - o controle de cheias e inundações com soluções alternativas que proporcionem maiores coeficientes de infiltração e retenção das águas pluviais, tanto no sistema de drenagem de uso coletivo quanto nas áreas privativas;

V - a ampliação da área vegetada.

CAPÍTULO VI DA COMPENSAÇÃO AMBIENTAL

Art. 29 - As atividades, edificações e empreendimentos instalados antes da promulgação desta Lei, que estiverem em desacordo com os coeficientes e parâmetros por ela estabelecidos, terão sua regularização sujeita a exigência de medidas de compensação de natureza urbanística ou ambiental.

Parágrafo único. As medidas de compensação de que trata o caput, deverão ser aprovadas pelos órgãos competentes e pelo colegiado das APREM- SC, e consistem em:

I - doação ao Poder Público de terreno localizado preferencialmente em SAPRE 2, na mesma APREM-SC, consideradas suas características para o interesse público;

II - aquisição de área localizada preferencialmente em SAPRE 2, na mesma APREM-SC, com a finalidade de transformá-la em SAPRE 1;

III - realização de obras de infra-estrutura;

IV - outras medidas a critério do órgão competente.

CAPÍTULO VII DA INFRA-ESTRUTURA E DOS SERVIÇOS DO SISTEMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Art. 30- O sistema de saneamento ambiental deverá garantir que cargas poluidoras não comprometam a qualidade e a quantidade das águas dos mananciais.

Parágrafo único. A implantação de infra-estrutura e a continuidade da prestação de serviços deverão ser priorizadas nas APREM-SC de modo a assegurar o disposto no *caput* deste artigo.

Seção I

Dos Efluentes Líquidos

Art. 31 - Nas APREM-SC, a implantação e a gestão de sistema de esgotos deverão atender as seguintes diretrizes:

I - extensão da cobertura de atendimento do sistema de coleta, tratamento ou transposição de esgotos nas áreas urbanizadas;

II - promoção da eficiência e melhoria das condições operacionais da rede implantada;

III - controle dos sistemas individuais de disposição de esgotos com vistoria e limpeza periódicas e remoção dos resíduos para lançamento nas estações de tratamento de esgotos ou no sistema de transposição de esgotos existentes;

IV - implantação de dispositivos de proteção contra extravasamentos nos sistemas de bombeamento dos esgotos;

V - promover a demarcação e o acesso aos Poços de Visitas – PV, facilitando a sua demarcação para efeito de monitoramento e controle dos órgãos públicos competentes.

Art. 32 - Nas APREM-SC, a instalação, ampliação ou regularização de novas edificações, empreendimentos ou atividades fica condicionada à implantação de sistema de coleta, tratamento ou transposição de esgotos.

Parágrafo único. Os sistemas individuais de tratamento de esgotos deverão possuir nível de eficiência, demonstrados em projeto a ser aprovado pelo órgão competente, em conformidade com a legislação vigente.

Art. 33 - Nas APREM-SC é proibida a reservação e armazenagem de efluentes industriais.

Parágrafo único. Os estabelecimentos industriais ou de outros usos, anteriores à data de publicação desta Lei, que coloquem em risco a integridade dos mananciais, deverão apresentar, conforme critérios previamente estabelecidos, planos de controle de poluição ambiental, plano de transportes de cargas tóxicas e perigosas e estudos de análise de riscos para a totalidade do empreendimento, comprovando a viabilidade de sua permanência nos locais atuais.

Seção II

Dos Resíduos Sólidos

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Art. 34 - Fica vedada, nas APREM-SC, a disposição de resíduos sólidos perigosos (Classe I), bem como dos demais resíduos sólidos (Classe II e III) provenientes do sistema de coleta de lixo urbano.

Seção III

Das Águas Pluviais e do Controle de Cargas Difusas

Art. 35 - Nas APREM-SC, serão adotadas medidas destinadas à redução dos efeitos da carga poluidora difusa, transportada pelas águas pluviais afluentes aos corpos receptores, compreendendo:

I - detecção de ligações clandestinas de esgotos domiciliares e efluentes industriais nas redes coletoras de águas pluviais;

II - adoção de técnicas e rotinas de limpeza e manutenção do sistema de drenagem de águas pluviais;

III - priorização dos serviços de varrição e de limpeza pública nas APREM-SC, em relação aos demais setores da cidade;

IV - adoção de medidas de controle e redução de processos erosivos, por empreendedores privados e públicos, nas obras que exijam movimentação de terra, de acordo com projeto técnico aprovado nos órgãos competentes;

V - utilização de práticas de manejo agrícola adequadas e a proibição do uso de produtos tóxicos que possam colocar em risco a qualidade dos corpos d'água, por contato direto ou carreamento pelo solo ou ar;

VI - adoção de programas de redução e gerenciamento de riscos bem como de sistemas de resposta a acidentes ambientais relacionados ao transporte de produtos químicos;

VII - adoção de técnicas que permitam a retenção e a infiltração das águas pluviais.

Art. 36 - Os novos empreendimentos deverão, em todas as etapas de sua implementação, adotar técnicas que evitem danos diretos ou indiretos a todos os cursos d'água abrangidos por esta Lei.

CAPÍTULO VIII DO LICENCIAMENTO E DA FISCALIZAÇÃO

Art. 37 - Nas APREM-SC, o licenciamento e fiscalização dos usos e atividades serão exercidos pelos órgãos municipais competentes, sem prejuízo da atuação de Órgãos Estaduais e Federais, em caráter concorrente, inclusive.

Art. 38 - A análise dos pedidos de licença e demais aprovações e autorizações realizadas pela Administração Pública, deve observar as normas e diretrizes desta Lei.

Art. 39 - Na conclusão dos processos de licenciamento de novos empreendimentos de parcelamento do solo, as restrições definidas nesta Lei deverão constar dos Decretos Municipais que finalizam a aprovação dos empreendimentos e dos Memoriais e Contratos registrados no Cartório de Registro de Imóveis.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

Art. 40 - A fiscalização será exercida pelos órgãos públicos municipais responsáveis pelo licenciamento da atividade ou empreendimento, sem prejuízo da fiscalização dos órgãos públicos Estaduais e Federais, em caráter supletivo.

Art. 41 - Compete aos agentes fiscalizadores:

I - efetuar vistorias, levantamentos e avaliações;

II - verificar a ocorrência de infrações;

III - elaborar relatórios técnicos de inspeção;

IV - intimar ou notificar, por escrito, os responsáveis pelas infrações a apresentarem documentos ou esclarecimentos em local e data previamente determinados;

V - desenvolver operações de controle aos ilícitos ambientais;

VI - prestar atendimento a acidentes ambientais, encaminhando providências no sentido de sanar os problemas ambientais ocorridos.

§ 1º -No exercício da ação fiscalizadora, fica assegurada, aos agentes fiscalizadores, a entrada, a qualquer dia e hora, e a permanência pelo tempo que se fizer necessário, em estabelecimentos públicos ou privados, bem como nos empreendimentos imobiliários, observadas as restrições e garantias constitucionais.

§ 2º- Os agentes fiscalizadores, quando obstados, poderão requisitar força policial para o exercício de suas atribuições.

CAPÍTULO IX DO SUPORTE FINANCEIRO

Art. 42 - Os Planos Plurianuais de Investimentos, as Leis de Diretrizes Orçamentárias e os Orçamentos Anuais dos órgãos e entidades da Administração Pública, direta e indireta, deverão contemplar recursos financeiros para a implementação desta Lei nas APREM-SC.

CAPÍTULO X DAS INFRAÇÕES E PENALIDADES

Art. 43 - As infrações classificam-se em:

I - leves: aquelas em que o infrator seja beneficiado por circunstâncias atenuantes.

II - graves: aquelas em que for verificada circunstância agravante ou em que o dano causado não possibilite recuperação imediata, ou que seja difícil a sua recuperação específica.

III - gravíssimas: aquelas em que seja verificada a existência de duas ou mais circunstâncias agravantes definidas nesta Lei ou em que o dano causado não possibilite recuperação em curto prazo ou, ainda, na hipótese de reincidência do infrator, advinda por manifesta imprudência, negligência ou imperícia.

§ 1º - Havendo o concurso de circunstâncias atenuantes e agravantes, a penalidade será aplicada levando-se em consideração a circunstância preponderante, entendendo-se como tal aquela que caracteriza o conteúdo da vontade do autor, ou as conseqüências da conduta assumida.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

§ 2º - A autoridade competente observará para imposição e gradação da penalidade:

I - a classificação da infração, nos termos deste artigo;

II - a gravidade do fato, tendo em vista as suas conseqüências para a saúde pública e o manancial;

III - os antecedentes do infrator quanto ao cumprimento desta Lei.

§ 3º - Constituem circunstâncias atenuantes:

I - menor grau de instrução e escolaridade do infrator;

II - arrependimento do infrator, manifestado pela espontânea reparação do dano, ou mitigação significativa da degradação ambiental causada;

III - comunicação prévia, pelo infrator, de perigo iminente da degradação ambiental;

IV - colaboração com os agentes encarregados da vigilância e do controle ambiental;

V - a ação do infrator não ser determinante para a eclosão do dano;

VI - ser o infrator primário e a falta cometida leve.

§ 4º - Constituem circunstâncias agravantes:

I - ser o infrator reincidente às normas desta Lei, ou cometer a infração de forma continuada;

II - ter o agente cometido à infração para obter vantagem pecuniária para si ou para outrem;

III - o infrator ter coagido outrem para a execução material da infração;

IV - ter a infração conseqüências graves para a saúde pública ou para o manancial;

V - ter o infrator deixado de tomar providências tendentes a evitar ou sanar a situação que caracterizou a infração;

VI - a infração ter concorrido para danos à propriedade alheia;

VII - utilização indevida de licença ou autorização ambiental;

VIII - a infração ser cometida por estabelecimento mantido, total ou parcialmente, por verbas públicas ou beneficiado por incentivos fiscais.

Art. 44 - Os infratores pessoas físicas ou jurídicas, ficam sujeitos às seguintes sanções:

I - advertência, pelo cometimento da infração, estabelecido o prazo máximo de 30 (trinta) dias, para manifestação ou início dos procedimentos de regularização da situação compatível com sua dimensão e gravidade, para o reparo do dano causado;

II - multa de R$ 500,00 (quinhentos reais) a R$ 5.000.000,00 (cinco milhões de reais), pelo cometimento da infração, levando em conta sua dimensão e gravidade;

III - multa diária, quando não sanada a irregularidade no prazo concedido pela autoridade competente, cujo valor diário não será inferior ao de R$ 500,00 (quinhentos reais), nem superior a R$ 5.000.000,00 (cinco milhões de reais);

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

IV - interdição definitiva das atividades não regularizáveis, ou temporária das regularizáveis, levando em conta sua gravidade;

V - embargo de obra, construção, edificação ou parcelamento do solo, iniciado sem aprovação ou em desacordo com o projeto aprovado;

VI - demolição de obra, construção ou edificação irregular e recuperação da área ao seu estado original;

VII - perda, restrição e ou suspensão de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público.

§ 1º - Os materiais, máquinas, equipamentos e instrumentos utilizados no cometimento da infração serão apreendidos.

§ 2º - Após a emissão da Advertência, a obra ou atividade não licenciada deverá ser paralisada imediatamente.

Art. 45 - As autoridades competentes para a aplicação de pena de multa deverão observar os seguintes limites:

I - de R$ 500,00 (quinhentos reais) a R$ 5.000,00 (cinco mil reais), nas infrações leves;

II - de R$ 5.001,00 (cinco mil e um reais) a R$ 500.000,00 (quinhentos mil reais), nas infrações graves; e

III - de R$ 500.001,00 (quinhentos mil e um reais) a R$ 5.000.000,00 (cinco milhões de reais), nas infrações gravíssimas.

§ 1º- A multa diária será aplicada no período compreendido entre a data do Auto de Infração e a cessação do ato infracional, comprovada pelo protocolo do processo de licenciamento do empreendimento ou atividade.

§ 2º - Nos casos de atividades ou empreendimentos não licenciáveis por esta Lei, a multa incidirá desde a notificação da infração até a comprovação de providências para a reconstituição da área ao seu estado original.

§ 3º - Nos casos de reincidência, caracterizada pelo cometimento de nova infração de mesma natureza e gravidade, a multa corresponderá ao dobro da anteriormente imposta.

§ 4º- Nos casos de infração continuada ou não atendimento das exigências impostas pela autoridade competente, será aplicada multa diária de acordo com os limites e a caracterização da infração prevista no presente artigo.

§ 5º - O produto da arrecadação das multas previstas nesta Lei deverá ser recolhido ao Fundo Municipal de Defesa Ambiental, Lei Municipal nº 11.236 de 23 de outubro de 1996.

§ 6º - A penalidade de interdição, definitiva ou temporária, será imposta nos casos de risco à saúde pública e usos ou atividades proibidas pela legislação, podendo também ser aplicada a critério da autoridade competente, nos casos de infração continuada, eminente risco ao manancial ou a partir da reincidência da infração.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

§ 7º - As penalidades de embargo e demolição poderão ser impostas na hipótese de obras ou construções feitas sem licença ou com ela desconformes, podendo ser aplicadas sem prévia advertência e com multa, quando houver risco de dano ao manancial.

§ 8º - As penalidades de suspensão de financiamento e de benefícios fiscais serão impostas a partir da primeira reincidência, devidamente comprovada por relatório circunstanciado, devendo ser comunicadas pelo órgão responsável pela fiscalização ao órgão ou entidade concessionária.

§ 9º - As penalidades estabelecidas nos incisos I, II e III do artigo 45 desta lei poderão ser aplicadas cumulativamente às dos incisos IV, V, VI e VII do mesmo dispositivo.

§ 10 - As sanções estabelecidas neste artigo serão impostas sem prejuízo das demais penalidades instituídas por outros órgãos ou entidades, no respectivo âmbito de sua competência legal, inclusive, de natureza criminal.

Art. 46 - Respondem solidariamente pela infração:

I - o autor material;

II - o mandante;

III - quem de qualquer modo concorra para a prática do ato ou dele se beneficie.

Art. 47 - Da aplicação das penalidades caberá recurso à autoridade imediatamente superior, sem efeito suspensivo, no prazo de 15 (quinze) dias úteis, contados da notificação do infrator.

§ 1º - A notificação a que se refere este artigo poderá ser feita mediante correspondência com aviso de recebimento do infrator.

§ 2º - Para julgamento do recurso interposto, a autoridade julgadora ouvirá a autoridade que impôs a penalidade no prazo de 15 (quinze) dias.

Art. 48 - Os débitos relativos às multas e indenizações, decorrentes de infração ambiental serão inscritos em dívida ativa.

Art. 49 - Os custos ou as despesas resultantes da aplicação das sanções de interdição, embargo ou demolição correrão por conta do infrator.

Art. 50 – Constatada infração às disposições desta Lei, os órgãos da Administração Pública encarregados do licenciamento e fiscalização deverão diligenciar, junto ao infrator, no sentido de formalizar Termo de Ajustamento de Conduta - TAC, com força de título executivo extrajudicial, que terá por objetivo principal a recuperação do manancial degradado, de modo a cessar, adaptar, recompor, corrigir ou minimizar os efeitos negativos sobre o meio, independentemente da aplicação das sanções cabíveis.

§ 1º - No caso da formalização do TAC que contemple satisfatoriamente as obrigações de fazer ou não fazer, as multas pecuniárias aplicadas poderão ser reduzidas em até 90% (noventa por cento) de seu valor e as demais sanções terão sua exigibilidade suspensa, a critério da autoridade competente.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.

§ 2º - A inexecução total ou parcial do convencionado no TAC ensejará sua remessa ao Ministério Público Estadual, para a execução das obrigações dele decorrentes, sem prejuízo das sanções penais e administrativas aplicáveis à espécie.

CAPÍTULO XI DAS DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS

Art. 51 - Deverão ser regularizados até 48 (quarenta e oito) meses após a publicação da presente lei, os parcelamentos do solo, edificações e atividades irregulares, observadas as condições e exigências, da Sub área onde o imóvel estiver localizado.

CAPÍTULO XII DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

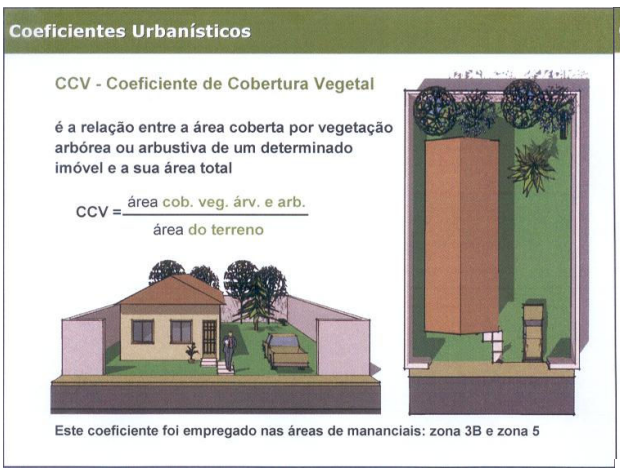
Art. 52 - Esta Lei será regulamentada no prazo de 120 dias, contados da data de sua publicação.

Art. 53 - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

São Carlos, de de 2.003

NEWTON LIMA NETO

Prefeito Municipal



COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, MG.