

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço...../...../.....
23 08 05

Ass.:.....
leson

**MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS NA PREVENÇÃO DE
ENCHENTES EM BACIAS URBANAS:
CENÁRIOS PARA A BACIA DO GREGÓRIO, SÃO CARLOS – SP**

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

Arq. Elisânia Magalhães Alves

DEDALUS - Acervo - EESC



31100052283

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo



São Carlos
2005

Class.	TESE
Cott.	0284
	e.1
Tombo	T227/105
Sysno	1461047

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

A474m

Alves, Elisânia Magalhães
Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em
bacias urbanas : cenários para a bacia do Gregório, São
Carlos-SP / Elisânia Magalhães Alves. -- São Carlos,
2005.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2005.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo.

1. Bacia urbana sustentável. 2. Medidas não-
estruturais. 3. Cenários de planejamento. 4. Córrego do
Gregório. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

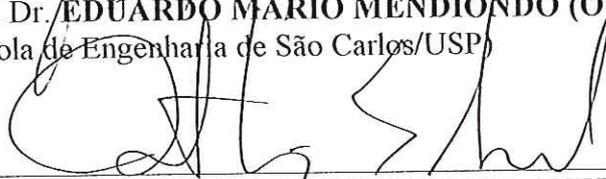
Candidata: Arquiteta e Urbanista **ELISANIA MAGALHÃES ALVES**

Dissertação defendida e julgada em 02-08-2005 perante a Comissão Julgadora:



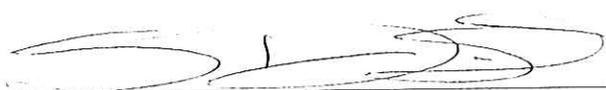
Prof. Dr. **EDUARDO MARIO MENDIONDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada



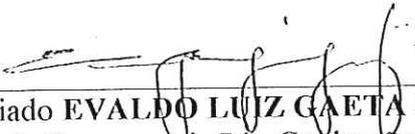
Prof. Associado **RENATO/LUIZ SOBRAL ANELLI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada



Prof. Dr. **SÉRGIO ROCHA SANTOS**
(Escola Politécnica/USP)

Aprovada



Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da
Engenharia Ambiental



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

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Mario Mendiondo, pela orientação e apoio nesse trabalho e pela oportunidade de participação e aprendizado durante a realização do projeto "PróTijuco";

Ao professor Marcelo Pereira de Souza pelo apoio e essencial orientação;

Ao CNPQ, pela bolsa de pesquisa;

Aos professores e funcionários do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos, pela colaboração;

Aos profissionais da Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de São Carlos, pelo auxílio na coleta de dados: Lucas, Kiko, Fabrício e Amanda;

Ao Rodrigo, pela parceria na realização do estudo de caso;

Aos amigos e colegas arquitetos Tatiana, Ricardo e Fernando, pela amizade, apoio e troca de conhecimentos;

Aos demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, em especial, a Rubens, Pedro, Andréa, Sandro, Roseli e Sabrina;

Ao pessoal do Lab-SIG, pela colaboração e discussões: Isabel, Vítor, Minduim, Mário, Gabriela, Fortunato, Nájila, Denis e Rogério;

Aos também colaboradores colegas do NIBH: Fred, Renata, Cid, Rubens, Heloísa, Fabiano, entre outros; e aos projetos CT-HIDRO/FINEP e ProTijuco FIPAI/PMSC, que contribuíram com dados coletados para esse trabalho;

Ao Daniel, pelo suporte emocional, carinho e apoio em todos os momentos;

Aos meus queridos pais e irmãos, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS	I
ÍNDICE DE SIGLAS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	6
<i>PARTE 1 – REFERENCIAL TEÓRICO</i>	7
CAPÍTULO 1 – A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL URBANA	9
1.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO	10
1.2 PLANEJAMENTO URBANO DISSOCIADO DE QUALIDADE AMBIENTAL	12
CAPÍTULO 2 – A BUSCA DO EQUILÍBRIO AMBIENTAL	17
2.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	19
2.1.1 SUSTENTABILIDADE URBANA	20
2.1.1.1 CAPACIDADE DE SUPORTE	25
2.1.2 A CIDADE COMO ECOSSISTEMA	27
2.1.3 DESENHO AMBIENTAL URBANO	30
2.1.4 ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS AMBIENTAIS	32
2.1.5 O PAPEL DAS ÁREAS VERDES NA QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO	33
CAPÍTULO 3 – DRENAGEM URBANA	37
3.1 O CONCEITO HIGIENISTA	38
3.2 A CIDADE E AS CHEIAS	39
CAPÍTULO 4 – BACIA URBANA SUSTENTÁVEL	41
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA: UNIDADE DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL	41
4.2 MEDIDAS PARA O PLANEJAMENTO DA DRENAGEM URBANA	44
4.2.1 MEDIDAS ESTRUTURAIS COMUMENTE EMPREGADAS	47
4.2.2 O PAPEL DAS MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS	49
4.3 PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA	53
4.4 EXEMPLOS DE IMPLANTAÇÃO DE MEDIDAS NÃO – ESTRUTURAIS EM BACIAS URBANAS	56

<i>PARTE 2 – ESTUDO DE CASO</i>	67
CAPÍTULO 5– METODOLOGIA	68
CAPÍTULO 6 – O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE SÃO CARLOS	70
6.1 EXPANSÃO DA ÁREA URBANA E IMPACTOS AMBIENTAIS	73
6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MUNICÍPIO	75
CAPÍTULO 7– A BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO	78
7.1 ÁREA DE ESTUDO	81
7.1.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E URBANA DA ÁREA DE ESTUDO	82
7.1.2 ANÁLISE DO MEIO E DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES À OCUPAÇÃO	90
7.1.2.1 RESTRIÇÕES AMBIENTAIS	90
7.1.2.2 EXIGÊNCIAS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	92
7.1.3 DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS PREVENTIVAS DE ENCHENTES	98
7.1.4 PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	98
7.1.5 GÊNESE DOS CENÁRIOS	101
7.1.6 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO USO DO SOLO NOS CENÁRIOS	103
7.1.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DO SOLO NOS CENÁRIOS	116
7.1.8 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DOS CENÁRIOS	119
7.1.9 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	120
7.2 APLICAÇÃO DE MEDIDAS NÃO – ESTRUTURAIS NO DESENHO URBANO	124
CAPÍTULO 8 – DIRETRIZES E CRITÉRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA BACIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS	129
<u>CONCLUSÕES</u>	134
<u>RECOMENDAÇÕES</u>	138
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	140

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Parte I

Figura 1.1: Impacto devido à urbanização.	11
Figura 1.2: Características do balanço hídrico numa bacia antes e após a urbanização.....	12
Figura 2.1: Cidades sustentáveis: menor consumo de energia e menor geração de resíduos... 23	
Figura 2.2: Sustentabilidade Ambiental.....	24
Figura 2.3: Seção de um corredor ecológico que pretende integrar objetivos de preservação e uso urbano.	36
Tabela 4.1: Estratégias e opções em gestão de enchentes.....	45
Figura 4.2: Parque Barigui, Curitiba-PR.....	57
Figura 4.3: Projeto de recuperação ambiental das várzeas do Alto Tijuco Preto, São Carlos, SP	57
Figura 4.4: "Sistema de drenagem natural" de Woodlands.....	59
Figura 4.6: Áreas de armazenamento natural nos vales da Bacia do Rio Charles.....	61
Figura 4.7: Sistema de Parques de Boston proposto por F. L. Olmsted.	62
Figura 4.9: Plano para a região dos Vales (Green Spring – Worthington Valleys, Maryland – EUA) proposto por Ian McHarg (1969)..	64
Figura 4.10: Bacias de detenção e retenção em duas áreas do Rio Cray, Londres.....	65

Parte II

Figura 6.1: Vazios urbanos passíveis de ocupação na cidade de São Carlos-SP.....	72
Figura 6.2: Construção da Avenida marginal, em 1974, na região do Córrego do Gregório.	74
Figura 6.3: Representação ortogonal tridimensional da mancha urbana de São Carlos	75
Figura 6.4: Micro- bacias da área urbana de São Carlos.....	77
Figura 7.1: Área central da Bacia do Córrego do Gregório. Sentido montante-jusante.....	78
Figura 7.2: Enchente do Córrego do Gregório na área central da cidade. Sentido montante-jusante.....	79
Figura 7.3: Canalização do trecho que atravessa a área central da cidade	79
Figura 7.4: erosão no Córrego do Gregório em trecho a jusante.....	80
Figura 7.5: Processo de ocupação próximo à Rodovia W. Luiz.....	80
Figura 7.6: Área de estudo: trechos do alto e médio curso do Córrego do Gregório.	81
Figura 7.7a: Ponto de instalação do linígrafo. Sentido montante-jusante.	82

Figura 7.7b: Região final da área de estudo. Sentido montante-jusante.	82
Figura 7.8: Hidrografia da Sub- Bacia do Córrego do Gregório.....	83
Figura 7.9: Afluente do Gregório canalizado e sem escoamento.	83
Figura 7.10: vista aérea do Córrego Invernada. Sentido montante-jusante.	83
Figura 7.11: vista aérea do Córrego Lazarini. Sentido montante-jusante.....	84
Figura 7.12: curvas planialtimétricas da área de estudo.....	84
Figura 7.13: Feições pedológicas da área de estudo.....	85
Figura 7.14: Erosão e ocupação próxima às margens do Gregório.	86
Figura 7.15: Canalização fechada sob travessia no córrego Lazarini.....	86
Figura 7.16: vista de um fragmento de cerrado na bacia de estudo	87
Figura 7.17: Uso do solo atual.....	87
Figura 7.18: Crescimento das áreas impermeáveis na área de estudo ao longo de 61 anos (1941- 2002).....	88
Figura 7.19a: Expansão da área urbana na sub-Bacia do Gregório de 1940 a 2002.....	88
Figura 7.19b: Expansão da área urbana na sub-Bacia do Gregório de 1962 a 1998.....	89
Figura 7.20: vista aérea do limite do perímetro urbano (após a rod. W. Luiz).....	89
Figura 7.21: Mapeamento Geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos.....	91
Figura 7.22: Área Especial de Interesse Ambiental na Bacia do Córrego do Gregório	92
Figura 7.23: Soma das restrições à ocupação na sub-bacia do Córrego do Gregório.....	97
Figura 7.24 – Zoneamento da bacia de acordo com o Projeto de lei do Plano Diretor de São Carlos.....	99
Tabela 7.1: Coeficientes para ocupação do lote nas zonas urbana e rural.....	100
Tabela 7.2: cenários gerados pelas diferentes condições de ocupação do solo.	102
Figura 7.25: Cenário 1.....	104
Figura 7.26: Cenário 2.....	104
Figura 7.27: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário2	105
Figura 7.28: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 3ª.....	106
Figura 7.29: Cenário 3a	107
Figura 7.30: Cenário 3b.....	108
Figura 7.31: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 3b	108
Figura 7.32: Cenário 4a	110
Figura 7.33: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 4a.....	111

Figura 7.34: Cenário 4b.....	112
Figura 7.35: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 4b	112
Figura 7.36: Cenário 5a	114
Figura 7.37: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 5a.....	114
Figura 7.38: Cenário 5b.....	115
Figura 7.39: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 5b	115
Figura 7.40: Áreas verdes no Cenário 3a (à esq.) e no Cenário 4a (à dir.).....	118
Figura 7.41a: Vista panorâmica das áreas verdes do Cenário Atual (à esq.) e do Cenário 4a/4b (à dir.).....	118
Figura 7.41b: Vista panorâmica das áreas verdes do Cenário atual (à esq.) e do Cenário 4a/4b (à dir.).....	118
Figura 7.42: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 10$ anos.....	120
Figura 7.43: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 25$ anos.	121
Figura 7.44: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 50$ anos.....	121
Figura 7.45: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva de dez/2004.	121
Figura 7.46: Proposta de zoneamento para a sub-bacia 6, considerando as restrições ambientais e de legislação.....	124
Figura 7.47 - Exemplo de desenho urbano para a área em destaque na sub-bacia 6, utilizando medidas preventivas	125
Figura 7.48 – Seção do fundo de vale: preservação e uso público nas áreas lindeiras ao córrego.....	125
Figura 7.49 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 10 anos.	126
Figura 7.50 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 25 anos.	126
Figura 7.51 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 50 anos.	127
Figura 7.52 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004.....	127
Figura 7.53 – Gráfico da relação vazões de pico e quantidade de áreas verdes (florestas e parques) na sub-bacia 6, para uma chuva com $Tr = 25$ anos.....	128

ÍNDICE DE SIGLAS

AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
APP	Área de Proteção Permanente
BMP	Best Management Practices
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
EPA	Environmental Protect Agency
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PD	Plano Diretor
PDDrU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PL	Projeto de Lei
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RL	Reserva Legal
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UP	Unidade de Planejamento
WCED	World Commission to Environment and Development
WCU	World Conservation Union
ZA	Zoneamento Ambiental

RESUMO

ALVES, E. M. (2005). *Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas: cenários para a bacia do Gregório, São Carlos – SP*. 149p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005

O presente estudo aborda a questão da drenagem urbana, enfocando a interdependência entre planejamento do uso do solo e do sistema de drenagem para o controle das enchentes. Considera que o sistema de drenagem, no planejamento de uma bacia urbana sustentável, deve ser previsto na fase inicial do planejamento urbano e integrado aos demais planos de desenvolvimento, para que atue de maneira preventiva, o que depende de conhecimento prévio do funcionamento do sistema urbano e da capacidade de previsão de possíveis alterações ambientais. É enfatizada a adoção de medidas não-estruturais no controle e prevenção de inundações e a definição de critérios ambientais para guiar o processo de ocupação urbana, a partir da identificação das vulnerabilidades e limitações de uso impostas pelas características naturais do meio. Dentro dessa nova abordagem de drenagem urbana, é apresentado um estudo de caso onde se avalia o efeito das medidas não-estruturais em micro-bacia parcialmente urbanizada. São propostos oito cenários do uso e ocupação do solo, em situações no passado, presente e futuro, com e sem medidas não-estruturais. A análise dos resultados das simulações hidrológicas dos cenários indica que medidas não-estruturais, quando adotadas em conjunto, resultam em percentual significativo de áreas permeáveis e são eficientes no controle do escoamento superficial e na atenuação de vazões de pico.

Palavras - chave: bacia urbana sustentável, medidas não-estruturais, cenários de planejamento, córrego do Gregório.

ABSTRACT

ALVES, E. M. (2005). *Non-structural measures on prevention of floods in urban basins: Scenarios for Gregório river watershed, São Carlos - SP: 149p.* Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

This work treats urban drainage issue in respect to the interdependence between urban planning and drainage system in order to control floods. The drainage system planning must be considered in the beginning of the urban planning and integrated to other plans, acting in a preventive way. A previous knowledge of the environmental factors in order to predict the negative impacts in the future is necessary in this planning approach. It is emphasized the adoption of non-structural measures in order to control and prevent urban floods and also the choice of environmental criteria to conduct the urban development, given the potential and constraints of the land. Inside this new approach of urban drainage, one study case in a micro watershed is presented, where non-structural measures are applied and evaluated. The land use scenarios are simulated in rainfall-runoff model and then evaluated. Hydrologic simulation results point that non structural flood control measures, when they are adopted together, result in an expressive percentage of pervious areas. Also, they are efficient in controlling run-off and peak discharges attenuation.

Key - words: urban sustainable basin, non-structural measures, scenarios of planning, Gregório river watershed.

INTRODUÇÃO

A cidade é palco das grandes transformações do mundo contemporâneo e a grande questão ecológica da atualidade.

Os ambientes urbanos têm concentrado cada vez mais população no mundo, que cresce geometricamente e sua ocupação se faz em áreas cada vez mais extensas. Embora a tendência nos países desenvolvidos seja de estabilização dos assentamentos humanos, o fenômeno da urbanização acelerada nos países em desenvolvimento assume contornos alarmantes, sobretudo no que diz respeito à capacidade de suporte¹ do planeta: o notável aumento da população e do consumo diante do estoque fixo de capital natural tornará o declínio desta capacidade de suporte do meio ambiente global o mais importante desafio à humanidade, como já vêm sendo observado, por exemplo, na questão da escassez de água para abastecimento.

O Brasil, como os demais países da América Latina, apresenta intenso processo de urbanização, especialmente na segunda metade do século XX, quando a taxa de população urbana passa de 26,3% (18,8 milhões de habitantes), em 1940, para 81,2% (138 milhões de habitantes), em 2000 (MARICATO, 2001).

Esse acelerado processo de urbanização, realizado de forma pouco planejada, tem gerado, ao longo do tempo, conseqüências danosas para o meio ambiente. O planejamento da ocupação urbana, através do Plano Diretor não tem considerado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água, o que acarreta impactos ambientais, com perdas materiais e humanas, como declara Marcondes (1999):

“A escassez de água, a contaminação dos mananciais e as enchentes representam as maiores ameaças à saúde e à segurança, em virtude da maneira como são estabelecidos os processos de apropriação dos recursos

¹ Pode ser definida como a capacidade de resiliência de um sistema, ou seja, a sua capacidade de persistir diante de uma perturbação, reagir, assimilar e adaptar-se às mudanças. Ver mais a respeito no Cap. 2, item 2.1.1.

ambientais, em especial os oriundos das formas de urbanização inadequadas vigentes” (MARCONDES, 1999).

A degradação progressiva dos recursos hídricos está ligada ao avanço da urbanização sobre o meio natural, de maneira desordenada, através da implantação de loteamentos irregulares e a instalação de usos e índices de ocupação incompatíveis com a capacidade de suporte do sistema. O parcelamento indiscriminado da terra nas periferias urbanas é uma das principais fontes de problemas ambientais das cidades, como aponta Braga (2003) ao dizer que:

De todas as indústrias urbanas poluentes, a “indústria do lote” talvez seja a mais perniciosa de todas, pois, além de ser de fácil disseminação, a demanda por seu produto é virtualmente inesgotável e seus efeitos são dificilmente reversíveis.

As inundações representam uma das maiores ameaças desse padrão de crescimento urbano: devido à impermeabilização do solo e a remoção de cobertura vegetal natural, cada vez mais, chuvas menores, de menor tempo de recorrência, passam a causar maiores transtornos à cidade.

Como “soluções” comumente adotadas estão os projetos de drenagem baseados em medidas estruturais, de curto tempo de vida, que transferem o problema de montante para jusante e têm como filosofia “*escoar a água precipitada o mais rápido possível da área projetada*” (TUCCI, 2003). No entanto, a adoção de medidas mitigadoras para o controle de inundações, ao longo dos anos, tem se mostrado ineficiente quando atua, via de regra, apenas sobre os efeitos e não sobre as causas, que estão na dinâmica dos fatores ambientais inerentes a paisagem urbana.

O planejamento do sistema de drenagem deve estar previsto na fase inicial do planejamento urbano e integrado aos demais planos de desenvolvimento. Além disso, o plano de drenagem deve embasar-se em critérios ambientais e não exclusivamente pela viabilidade econômica de projetos hidráulicos, que muitas vezes negligenciam os impactos ambientais. Assim, é necessário adotar medidas preventivas de controle distribuído, considerando a totalidade da bacia e a adequada regulamentação.

Partidário (1999), quando refere à gestão da qualidade ambiental em áreas urbanas, aponta para a abordagem preventiva das medidas de gestão ambiental em relação à manutenção de um nível elevado de qualidade ambiental urbana. Contudo, a adoção de medidas de caráter preventivo, como observa a autora, implica o prévio

conhecimento do funcionamento do sistema urbano e a capacidade de previsão de possíveis alterações ambientais.

Um instrumento de gestão ambiental essencial ao controle e previsão de impactos, dentre esses as enchentes, é o zoneamento ambiental, que deveria se integrar aos instrumentos do Plano Diretor para ditar as potencialidades e restrições do meio, ao eleger áreas propícias a densificação ou urbanização e áreas onde a ocupação seja ambientalmente inviável.

Para o planejamento de uso do solo e mesmo na tomada de decisão quanto as medidas que venham a atenuar os efeitos catastróficos das inundações urbanas, o zoneamento de áreas inundáveis constitui instrumento determinante para o prévio conhecimento da vulnerabilidade do meio frente a ação antrópica. É a partir desse instrumento que são definidos critérios de uso e ocupação das áreas de fundo de vale, possibilitando contemplar percentual significativo de áreas permeáveis e atenuação dos picos de vazão.

Associadas às formas degradantes de apropriação das áreas urbanas, as enchentes, assim com a escassez hídrica, colocam os recursos hídricos como a principal questão no debate atual sobre a qualidade do ambiente urbano. Isso caracteriza tanto a necessidade de que a bacia hidrográfica seja uma unidade fundamental para a gestão ambiental das cidades como o processo de ordenação do uso e ocupação do solo a questão prioritária na política de gestão dos recursos hídricos.

A adoção da Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento da dinâmica de uso e ocupação do espaço, integrado à questão da drenagem, figura como uma estratégia para a análise ambiental do espaço urbano e subsídio à tomada de decisão sobre medidas a serem adotadas na prevenção de inundações urbanas.

Diante do exposto pode-se considerar que a problemática da drenagem urbana é um tema que deve, inevitavelmente, ser estudado em conjunto com o planejamento do solo urbano, dentro de uma concepção nova de drenagem urbana, que se baseia no planejamento integrado do meio ambiente, como um conjunto de medidas preventivas de impactos das alterações ocorridas no ciclo hidrológico devido ao inadequado uso do solo. Para isso, é necessário considerar a capacidade de suporte do meio e a aplicação de critérios ambientais, que visam guiar o processo de ocupação urbana, identificando vulnerabilidades ambientais e limitações de uso impostas pelas características naturais locais. Seu principal propósito é reduzir a degradação ambiental e promover a recuperação e manutenção das condições desejáveis para a bacia.

Desenvolvimento do trabalho

O presente trabalho se propõe a uma investigação dentro dessa nova abordagem de drenagem urbana, apresentando um estudo de caso onde se enfatiza a adoção de medidas preventivas - não-estruturais - no disciplinamento do uso e ocupação do solo em micro-bacia urbana, através da formulação e análise de cenários ambientais como fatores decisivos ao processo de planejamento do sistema de drenagem, visando a bacia urbana sustentável.

Como esta abordagem visa o planejamento ambiental da bacia, e este requer a interdisciplinaridade, o presente estudo propõe cenários de uso e ocupação do solo, cujas implicações hidrológicas aparecem em Boldrin (2005)² que também tem como objeto de estudo a micro-bacia do Córrego do Gregório. Esse trabalho conjunto resulta em propostas para dar suporte ao planejamento urbano, focadas na sustentabilidade da drenagem e pautadas nas respostas do escoamento superficial na bacia dadas pelas simulações hidrológicas.

A dissertação estrutura-se em duas partes, cujo conteúdo está dividido em 8 capítulos.

A Parte I consiste de uma revisão bibliográfica, que se subdivide em 4 capítulos. No primeiro se contextualiza a questão da drenagem urbana a partir da problemática ambiental das cidades, demonstrando os impactos do atual modelo de ocupação territorial. O segundo capítulo aborda o surgimento de um planejamento mais voltado aos princípios ecológicos e com múltiplos propósitos, dentro de uma visão ecossistêmica, discutindo as premissas do desenvolvimento sustentável e de sua extensão às cidades. Nesse mesmo capítulo, fala-se da importância do sistema de áreas verdes para a manutenção da qualidade ambiental urbana e da formulação de cenários ambientais, como subsídio ao planejamento ambiental. O terceiro capítulo aborda a questão das cheias urbanas e a continuidade da aplicação do modelo higienista de condução rápida das águas do escoamento superficial. O quarto capítulo apresenta a discussão sobre a importância da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental urbano, do papel das medidas preventivas de

² Ver detalhes da escolha do modelo hidrológico, da entrada de dados e da execução das simulações dos cenários em BOLDRIN, R. S. (2005). *Avaliação de Cenários de Inundações Urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle*: trecho da Bacia do Córrego do Gregório - São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

enchentes, notadamente a conservação das áreas verdes, apresentando exemplos de aplicação dessas medidas no Brasil, América do Norte e Europa.

A Parte II trata do estudo de caso e se subdivide em 4 capítulos (5 ao 8). O capítulo 5 apresenta os procedimentos metodológicos desse estudo. O capítulo 6 discorre sobre o processo de expansão urbana de São Carlos, os impactos gerados e a caracterização ambiental do município. No sétimo capítulo é feita uma caracterização focada na Sub-bacia Bacia do Córrego do Gregório, objeto de estudo, seus aspectos físicos e urbanos. Também são apresentadas as simulações hidrológicas e analisados os possíveis cenários de ocupação do solo na bacia, considerando ou não a aplicação de medidas não-estruturais de drenagem. Esse mesmo conjunto de medidas é aplicado em uma sub-bacia (UP) da área de estudo, de forma isolada e combinada, sendo também avaliados os resultados das simulações hidrológicas da referida área. Já o oitavo e último capítulo enumera critérios e diretrizes gerais de uso do solo para prevenção de enchentes e incremento da qualidade do ambiente urbano.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Propor e avaliar os resultados da adoção de medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias hidrográficas, tendo em vista o planejamento ambiental de uma bacia urbana sustentável.

Objetivos Específicos:

Parte I:

- Discutir o tema "drenagem urbana" dentro do campo do planejamento urbano integrado, sob a perspectiva de desenvolvimento sustentável.
- Analisar a aplicação de medidas não-estruturais de prevenção de enchentes, voltadas para a conservação e planejamento das áreas verdes, buscando exemplos de projetos no Brasil e em outros países.
- Avaliar os aspectos legais relacionados à preservação de áreas verdes e a prevenção de enchentes nas bacias urbanas.

Parte II:

- Propor cenários de urbanização na bacia do Córrego do Gregório - São Carlos (SP), considerando apenas o uso de medidas não-estruturais, para análise da dinâmica do escoamento superficial.
- Avaliar as simulações hidrológicas das diversos cenários de ocupação do solo na Bacia do Córrego do Gregório, para identificar a eficácia do uso de medidas não-estruturais.
- Propor diretrizes e critérios para guiar o processo de ocupação urbana na bacia, a fim de minimizar os impactos da impermeabilização do solo sobre o sistema de drenagem.

“A natureza na cidade é muito mais do que árvores, jardins e ervas nas frestas das calçadas e terrenos baldios. É o ar que respiramos, o solo que pisamos, a água que bebemos e expelimos e os organismos com os quais dividimos nosso habitat. A natureza na cidade é uma força poderosa que pode sacudir a terra, fazendo-a deslizar, deslocar-se ou desmoronar-se. (...) É a chuva e o barulho da correnteza dos rios subterrâneos enterrados no sistema de águas pluviais(...) É a consequência de uma complexa interação entre os múltiplos propósitos e atividades dos seres humanos e de outras criaturas vivas e dos processos naturais que governam a transferência de energia, o movimento do ar, a erosão da terra e o ciclo hidrológico. A cidade é parte da natureza.”.

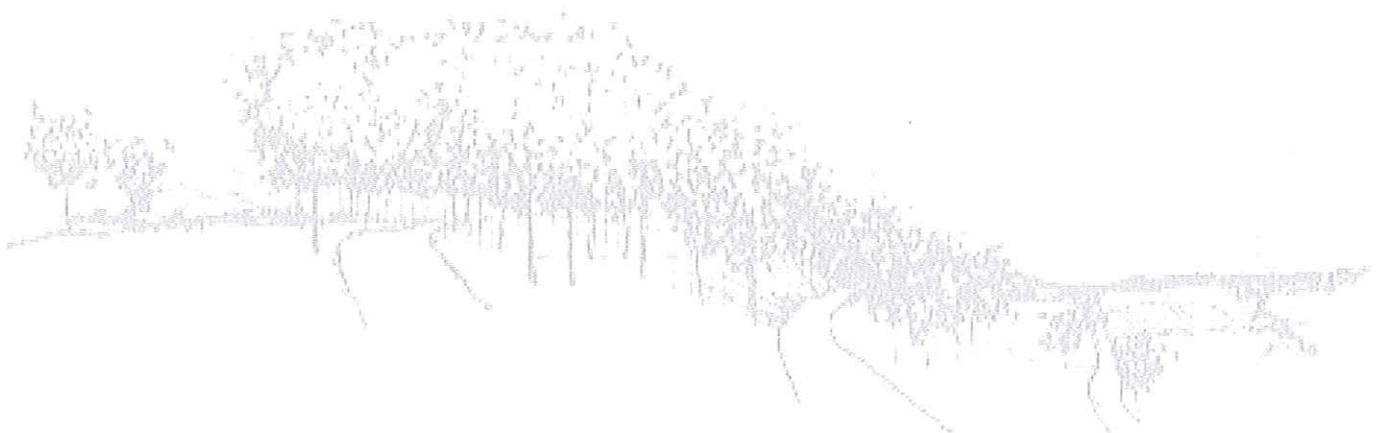
ANNE WHISTON SPIRN

O Jardim de Granito



PARTE I

REFERENCIAL TEÓRICO



CAPÍTULO 1 – A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL URBANA

“A história do homem sobre a Terra é a história de uma rotura progressiva entre o homem e o entorno”.

MILTON SANTOS³

A intensidade e as características da urbanização em todo o mundo geraram dois grandes problemas no final do século XX: a questão urbana e a questão ambiental. A intensidade da concentração urbana intensifica os processos de degradação ambiental, resultando em crescente vulnerabilidade das cidades.

Nas últimas décadas, a urbanização acelerada e desordenada, a concentração da população e das atividades econômicas no espaço e os padrões tecnológicos da produção industrial têm reforçado um quadro ambiental altamente degradado, resultante de um padrão de desenvolvimento que leva ao uso predatório dos recursos naturais. As cidades estão no cerne dessa questão: enquanto centros de produção e consumo, são grandes exploradoras de recursos naturais. (CHAFFUN, 1996).

Quando se aborda a questão da qualidade ambiental nos aglomerados humanos, o desenvolvimento, as alterações tecnológicas e a urbanização são apontadas como a origem dos problemas relacionados aos fatores ambientais das áreas urbanas (PARTIDÁRIO, 1999). Uma das causas apontadas é o desenvolvimento de políticas que não contemplam ou que dão baixo valor à proteção ambiental. Sem a necessária adequação ao meio físico, biótico e antrópico, a expansão urbana tem gerado os seguintes impactos, entre outros:

- Degradação do patrimônio natural e cultural, pelo avanço da ocupação em áreas ambientalmente frágeis;
- Retirada da cobertura vegetal, expondo o solo a processos erosivos;
- Contaminação dos cursos d'água por efluentes sanitários sem tratamento e resíduos sólidos dispostos inadequadamente;

³ SANTOS, M. (2002). *Técnica, Espaço, Tempo: globalização e meio técnico-ciêntífico-informacional*. São Paulo: Ed. Hucitec.

- Degradação dos mananciais de água e dos fundos de vale em decorrência da impermeabilização do solo;

Entre os fatores que contribuem para a vulnerabilidade sócio-ambiental das cidades, podem ser destacadas:

- a ineficácia do controle por parte do poder público sobre o processo de expansão urbana, do ponto de vista legal e técnico;
- a intensa especulação imobiliária traduzida na ilegalidade da ocupação de áreas periféricas;
- a ocupação urbana em áreas frágeis do ponto de vista ambiental;
- a inexistência do zoneamento ambiental, como instrumento de avaliação da capacidade de suporte do sítio natural e das estruturas instaladas;
- e a ausência de efetivo exercício de participação da sociedade na discussão de propostas para a cidade.

Na perspectiva de reverter o quadro de degradação e construção de cidades sustentáveis - conciliação entre desenvolvimento urbano e qualidade ambiental - a gestão urbana deve considerar, principalmente, as características, a capacidade de suporte do meio e as necessidades colocadas pela sociedade. A legislação urbana, a Política Ambiental, com seus instrumentos e a participação social são as principais ferramentas nesse processo.

1.1 Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico

A questão dos recursos hídricos perpassa todos os componentes do ecossistema urbano, influenciando a qualidade ambiental e de vida nas cidades. Entretanto, as intervenções humanas têm negligenciado a relação entre o elemento água e seu entorno natural, pois afeta os diversos fenômenos do processo hidrológico de maneira diferenciada, podendo tanto aumentar quanto diminuir seus efeitos na bacia hidrográfica.

Devido à impermeabilização do solo, a remoção de cobertura vegetal natural e a canalização dos corpos d'água, a expansão urbana ameaça os recursos hídricos e a estabilidade do ecossistema bacia hidrográfica. Nesse processo, a água que antes infiltrava ou era retida pelas plantas, passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial e gerando vários efeitos que modificam os componentes do ciclo hidrológico natural.

Ocorre drástica diminuição da capacidade de armazenamento do solo e do subsolo causada pela perda da capacidade do solo em absorver águas pluviais, associada ao aumento do escoamento superficial e ao conseqüente aumento da intensidade do fluxo fluvial, bem como a diminuição da evapotranspiração. Como conseqüências desse desequilíbrio na drenagem estão as enchentes urbanas, que acometem sazonalmente grandes cidades (Figura 1.1).

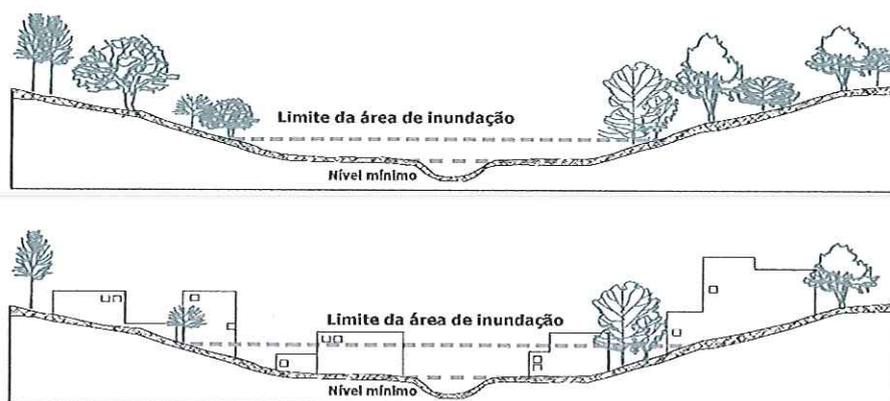


Figura 1.1: Impacto devido à urbanização. Fonte: Adaptado de Schueler (1987 apud Tucci, 2003).

O clima urbano também é um dos fatores afetados pelas alterações no ciclo hidrológico. A diminuição das áreas verdes, a impermeabilização e a poluição geram o fenômeno das ilhas de calor, que está associado ao aumento da pluviosidade no verão, o que contribui para o acirramento do problema das enchentes (BRAGA, 2003).

Em relação aos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, Tucci (2003) apresenta, na Figura 1.2, de maneira sucinta:

- Aumento do escoamento superficial e redução do tempo de deslocamento, aumentando as vazões máximas e antecipando seus picos no tempo;
- Redução do escoamento subterrâneo, diminuindo o nível do lençol freático no aquífero;

- Redução da evapo-transpiração;
- Redução da infiltração do solo.

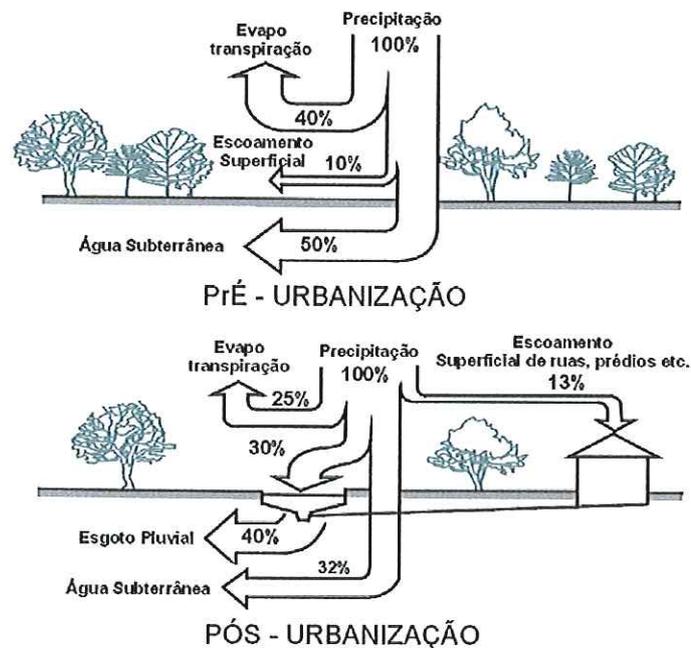


Figura 1.2: Características do balanço hídrico numa bacia antes e após a urbanização.
Fonte: Adaptado de OECD (1986 apud TUCCI, 2003).

No entanto, os atuais problemas ambientais urbanos não decorrem somente da falta de planejamento urbano, mas da prática do mau planejamento, que de forma rígida e severa se impôs desde o começo do século XX, muitas vezes voltado a interesses econômicos, desconsiderando o contexto e o conhecimento das características naturais do meio.

1.2 Planejamento Urbano dissociado de Qualidade Ambiental

O planejamento urbano surge no Brasil, de acordo com Deák (1999), por volta de 1930, como uma nova atividade governamental com a finalidade específica de tratar das novas entidades que estavam surgindo: as aglomerações urbanas. Villaça (1999) define essa atividade como a ação do Estado sobre a organização do espaço intra-urbano.

O pensamento de Villaça (1999) é elucidativo quanto à trajetória do planejamento urbano no Brasil, no decorrer do século XX. Segundo o autor, a partir da década de 50

se desenvolve um discurso no país sobre a necessidade de integração dos vários objetivos dos planos urbanos, centrando-se na figura do plano diretor e passando a se chamar planejamento local integrado. No entanto, a integração não ocorreu, mas, pelo contrário, quase que totalmente, não passou do discurso. A partir da década de 60, passaram a ser produzidas no país dezenas de planos diretores, sendo que, em sua esmagadora maioria, não atingiram os objetivos que se propuseram, “*não escapando de um destino tradicional: boas intenções descoladas de implementação*”⁴. Nesse sentido, Villaça (1999) destaca os aspectos urbanísticos – referentes a uso e ocupação do solo – sendo os que mais geraram polêmicas e mobilizaram facções da classe dominante para impedir a aprovação de planos ou esterilizar a ação dos que já haviam sido aprovados.

É importante salientar que as matrizes que fundamentaram o planejamento urbano no Brasil nas últimas décadas não têm comprometimento com a realidade socioambiental de nossas cidades (MARICATO, 2000), uma vez que a prática tradicional de planejamento negociava, a portas fechadas, o destino da cidade com os interesses econômicos, locais e corporativos, ignorando conflitos sociais e condições ambientais locais. Países periféricos como o Brasil, que aplicaram o mesmo receituário ordenador do planejamento das cidades européias tiveram resultados pouco eficazes, por não conseguir ultrapassar questões estruturais da cidade. Assim, a importação desses padrões “aplicados a uma parte da cidade (ou da sociedade), a chamada ‘cidade do mercado imobiliário legal’, contribuiu para que a cidade brasileira fosse marcada pela modernização incompleta e excludente” (MARICATO, 2000).

Essa prática do planejamento urbano, limitada à organização dos espaços da cidade e centrada na restrição de seu traçado, suas densidades e seus usos, baseia-se na aplicação do zoneamento, instrumento tradicional de ordenamento do uso e ocupação do solo, que busca eleger os usos possíveis para determinadas áreas da cidade, evitando convivências “conflitantes” entre eles, não sendo objeto de preocupação as especificidades físico-ambientais da cidade, conforme observa Maricato (2001):

As leis de zoneamento constituem, talvez, a expressão mais forte do urbanismo modernista com sua utopia de dirigir ordenadamente o uso e a ocupação do solo, com regras universais e genéricas, separando usos, níveis de circulação, tipologias de edifícios, padrões de ocupação do solo etc (MARICATO, 2001, p. 114)

⁴ Maricato (2001), p.116.

Desse caráter de intervenção no território, que Maricato (2000) declara ser fundamentalmente econômico e muito mais afeito às vicissitudes do mercado imobiliário do que aos problemas socioambientais das cidades, resulta, na prática do planejamento no Brasil: legitimação de usos do solo já consolidados, especulação imobiliária, aumento da segregação social e degradação ambiental. "*As 'áreas protegidas' por lei, como os fundos de vale e as encostas íngremes, por não interessar ao mercado legal, passam a ser ocupadas de forma espontânea, constituindo um entrave a sustentabilidade ambiental*" (MARICATO, 2000).

As manifestações críticas sobre a concepção racionalista do urbanismo, que tem o zoneamento como seu principal instrumento, juntamente com a discussão sobre a qualidade ambiental urbana, surgem, segundo Del Rio (1990), a partir da década de 1960.

Nos Estados Unidos, críticos como Jane Jacobs (1961) e Richard Sennett (1990) têm alertado o público para a importância do desenho urbano, sendo ambos críticos de aspectos do planejamento urbano, mais notadamente o zoneamento tradicional, no caso de Jacobs, e o padrão rígido de malha urbana ortogonal, no caso de Sennett (HAUGHTON e HUNTER, 1996). Para Jacobs (2000), as cidades necessitam da diversidade de usos mais complexa e densa, que propicie entre eles uma sustentação mútua e constante, tanto econômica quanto social; e o zoneamento tradicional combate essa diversidade, racionaliza a urbanização, transformando-a em coisa estéril, rígida e vazia. Sennett (1990 apud HAUGHTON e HUNTER, 1996) observa que a malha ortogonal é implantada desconsiderando os aspectos naturais do sítio, como a topografia, os vales, as florestas, as irregularidades dos cursos dos rios ou lagos.

Postura semelhante é a de Turner (1998), para quem uma consequência lamentável do princípio difundido pelo pensamento moderno e seus planos de zoneamento é a restrição à diversidade de usos do solo, que leva a hierarquização das áreas nas cidades como reflexo das estruturas sociais.

Para Rueda⁵ (1992 apud FRANCO 2001), a atual planificação urbana continua refletindo, em muitos casos, os princípios expostos na *Carta de Atenas*⁶, sendo que o

⁵ RUEDA, S. (1992). El ecosistema urbano y los mecanismos reguladores de las variables autogenerativas. In: *Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales*, v. II. Madrid: Ministério de Obras Publicas.

⁶ Teoria de planificação publicada em 1941, elaborada pelo arquiteto Le Corbusier, que sintetiza o conteúdo do Urbanismo Funcionalista, sistema de planejamento urbano baseado na rígida compartimentação e na localização

mais notável resultado desse modelo é a garantia do máximo consumo de energia, tempo e solo na solução das funções correntes da vida urbana, o que transforma todos os cidadãos em potências e involuntários agentes do desperdício energético.

Villaça (1999), ao se referir às políticas públicas reais nas esferas imobiliária e fundiária no Brasil, afirma que a ação do Estado, através das leis urbanísticas de zoneamento, produziu e continua produzindo a cisão de nossas cidades em duas: de um lado a valorizada cidade legal, equipada e moderna, do outro a ignorada cidade ilegal, miserável e atrasada. *"Nos seus quase cem anos de existência entre nós, o zoneamento quase que exclusivamente serviu para atender a interesses claros e específicos, particularmente os da população de mais alta renda"* (VILLAÇA, 1999).

Também contrária ao planejamento tecnocrático e excludente, Rolnik (1999) aponta para a relação entre o zoneamento e a exclusão social ao dizer que:

[...] a regulação urbanística tradicional - baseada no estabelecimento de zonas intra-urbanas, diferenciadas por meio de coeficientes de ocupação, aproveitamento e verticalização específicas - não se mostrou eficiente no sentido de combater a exclusão social. Pelo contrário, pôde consolidar territórios em que essa exclusão se legitima (ROLNIK, 1999).

Diante dessas críticas, é importante considerar que as instâncias de planejamento no Brasil, diferentemente dos países desenvolvidos, não contam com tradição de participação popular em decisões políticas. Como menciona Souza (2000):

Em países socialmente mais equilibrados e democráticos, o grau de conscientização, a mobilização e a participação popular nas questões ligadas à administração do espaço local são incomparáveis à realidade enfrentada pelos países subdesenvolvidos. Devido a fatores históricos e estruturais como desigualdade social e a manutenção do *status quo* pelos setores dominantes, predomina um estado de apatia e ignorância na população em geral (SOUZA, 2000).

Para Maricato (2000), além do debate e da participação ativa da população, do controle e fiscalização do uso e ocupação do solo, é necessário um enfoque integrado das ações sociais, ambientais e econômicas.

O destino do planejamento no Brasil atual, a credibilidade e o conteúdo dos planos diretores depende da conscientização da população em relação à problemática ambiental urbana, da criação de um espaço de debate democrático com participação

social ativa, da opinião pública esclarecida, além de eficazes e eficientes canais de expressão e atuação, o que inexistia na concepção tradicional de planejamento urbano.

A participação da sociedade é apontada como fundamental à tomada de decisão, tanto na Lei das Águas, que já apóia a criação de associações de usuários e de comitês de bacia, como na nova estratégia de gestão trazida pela Lei do Estatuto da Cidade.

Se o zoneamento tradicional, instrumento de planejamento mais difundido no Brasil, não tem contribuído para a democratização do acesso a terra urbana ou a redução da degradação ambiental, como aponta Braga (2003), é preciso repensá-lo de forma que a aplicação desse instrumento esteja voltada à capacidade de suporte do meio e às características ambientais das diversas unidades de paisagem, definidas pelas bacias e micro-bacias hidrográficas urbanas. Para tanto, esse instrumento deveria ser embasado por um zoneamento ambiental, deixando de ser limitante e passando a ser um instrumento indicativo, a apontar ocupações ambientalmente favoráveis às políticas públicas.

O ZA é citado no Estatuto da Cidade, embora esta lei não garanta a articulação necessária desse instrumento aos de planejamento municipal. Cabe então aos municípios, na elaboração de seus Planos Diretores, a sua articulação aos instrumentos de gestão ambiental, para que estes possam ser implementados no âmbito local e regional, impulsionando a capacidade de gestão ambiental das cidades.

Ao incorporar o questionamento da relação entre ambiente antropizado e os ecossistemas naturais, os objetivos do planejamento devem ser ampliados, não se resumindo à elaboração de um plano diretor, que não consegue, sozinho, abranger os múltiplos aspectos do planejamento urbano, devendo se articular com outros planos setoriais complementares, focados em diretrizes sobre aspectos específicos, como os relativos à arborização, drenagem urbana, transportes, esgotamento sanitário etc.

CAPÍTULO 2 – A BUSCA DO EQUILÍBRIO AMBIENTAL

“Todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações”.⁷

O século 20 viu emergir um considerável conjunto de planos de inovação e experimentação a partir do tema do desenvolvimento urbano sustentável, com o surgimento de expressões como cidades orgânicas, verdes ou *eco cities*. Dentro das mais influentes propostas de alterar a forma e o modelo das cidades, destaca-se a abordagem voltada para a integração regional equilibrada com o ambiente natural, a partir da necessidade de planejar o desenvolvimento urbano dentro do contexto local do ambiente natural (HAUGHTON e HUNTER, 1996).

Esse novo pensamento, acerca de como as cidades poderiam se estabelecer em contato com a natureza, encontra sua mais famosa expressão no trabalho de Ebenezer Howard e seus seguidores, com a proposta de cidade jardim em 1898, formulada como solução para o impasse civilizatório enfrentado pelas grandes cidades britânicas do século XIX, numa tentativa de reunir as vantagens das cidades às do campo, com melhoria das condições de vida e controle do crescimento urbano⁸.

Patrick Geddes, em 1915, acreditava que o planejamento urbano necessitava de um prévio conhecimento das regiões naturais e seus recursos, considerando a bacia hidrográfica como unidade natural para a análise das diferentes atividades associadas às cidades. Em 1961, Lewis Mumford, influenciado pelo movimento de Cidade Jardim e pela abordagem de bacia hidrográfica de Patrick Geddes, cria uma ligação mais direta entre características naturais e desenvolvimento urbano (HAUGHTON e HUNTER, 1996), embora essa abordagem só adquira maior avanço no trabalho de Ian McHarg, em 1969⁹, cujo tema é “*design with nature*”, onde o autor mostra como os processos

⁷ Constituição Federal do Brasil, artigo 225 (BRASIL, 1988).

⁸ Ver a respeito o livro *Cidades Jardins: a busca do equilíbrio social e ambiental: 1898–1998*. 3ª Bienal Internacional de Arquitetura. São Paulo: Fundação Bienal de São Paulo. Universidade de São Paulo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (OTTONI e SZMRECSÁNYI, 1997).

⁹ MCHARG, I. L. (1992). *Design with nature*. New York: John Wiley & Sons, Inc. (25ª edition).

naturais deveriam influenciar o processo de planejamento e projeto e evidencia sua maior preocupação com o planejamento do que com o projeto.

Assim como Geddes, McHarg preconiza o exame das condições ambientais da área como prioridade antes do desenvolvimento urbano, mas, avança no nível da análise ao incorporar variáveis como área de recarga de aquíferos e clima local. Levando em consideração as diversas dimensões de impactos da urbanização sobre o ambiente natural, busca-se avaliar as características do meio para se identificar as áreas onde a urbanização acarretaria menor risco aos ecossistemas naturais. Dessa forma, os trabalhos de Geddes, Munford e McHarg, em particular, enfatizam a necessidade de planejar a expansão urbana e novas cidades a partir do conhecimento das condições ecológicas locais, com o objetivo de minimizar os impactos adversos do desenvolvimento urbano (HAUGHTON e HUNTER, 1996).

O Urbanismo Funcionalista ou Racionalista, que surge com a consolidação do Movimento Moderno na Europa no período compreendido entre as duas guerras mundiais, impulsiona o planejamento regional e intra-urbano, cujo conteúdo é sintetizado na "Carta de Atenas". Dentre os princípios do urbanismo moderno estão a submissão da propriedade privada do solo urbano aos interesses coletivos, a limitação do tamanho e da densidade das cidades e a edificação concentrada, porém, adequadamente relacionada com amplas áreas verdes. Supunha o zoneamento funcional como instrumento de ordenamento urbano e uma estética geometrizante para um modelo de cidade que seria o mesmo em qualquer parte do mundo, constituindo uma resposta universalmente válida aos problemas das grandes cidades da era industrial. Embora haja uma preocupação em liberar o solo para a sua utilização do ponto de vista urbanístico e o patrimônio ambiental seja visto como um instrumento de planejamento, em nenhum momento são aventadas as peculiaridades da natureza do espaço urbano, dos mecanismos econômicos que condicionam a sua produção e consumo (Sherer, 1986)¹⁰. Como afirma Turner (1998), o trabalho de McHarg se opõe o planejamento e projeto modernos, que tendiam a criar locais similares em todo o mundo, ignorando o contexto local.

A consciência de proteção ambiental se consolida no final da década de 70 e os princípios ecológicos passam a ser contemplados no planejamento da paisagem

urbana, considerada como parte integrante da natureza. Dentro dessa ótica também está o trabalho de Anne W. Spirn (1995), "O Jardim de Granito"¹¹, de 1983, onde é reforçado o argumento de que o homem é parte da natureza e que os processos naturais devem ser centrais no planejamento e projeto urbanos. Assim como Ian McHarg, Spirn dá exemplos de como projetar com a natureza.

A ecologia da paisagem surge, então, como uma tentativa de traduzir os princípios ecológicos para a escala prática do planejamento urbano. Em sua obra de 1986, *Landscape Ecology*, Forman e Godron buscam fundir o conhecimento de geógrafos, ecologistas, arquitetos-paisagistas, planejadores e historiadores para entender a estrutura, função e mudança das paisagens.

Os princípios dessa nova forma de planejamento, mais voltada a questões ecológicas por reconhecer a interdependência entre os diversos elementos que compõem o ambiente, fundamentam o surgimento do planejamento ambiental, a partir dos anos 80.

2.1 Planejamento Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável

A crise ambiental das últimas décadas e a previsão da escassez de recursos naturais básicos evidencia o fracasso do planejamento fundamentado na visão positivista e progressista, ligada a meta do desenvolvimento econômico ilimitado. Os anos oitenta viram surgir uma nova modalidade de planejamento, mais voltada às intervenções humanas dentro da capacidade de suporte¹² dos ecossistemas, visando a melhoria da qualidade de vida humana, dentro de uma ética ecológica, ao qual deu-se o nome de Planejamento Ambiental.

Partindo do princípio da valorização e conservação das bases naturais de um dado território, ou seja, suas relações ecossistêmicas, o Planejamento Ambiental pressupõe o planejamento das ações humanas no território, fundamentado na compreensão do ambiente natural, seus aspectos físicos, biológicos e antrópicos, para facilitar o seu

¹⁰ SHERER, R. (1986). Apresentação. In: CORBUSIER, L. (1993). A carta de Atenas. Estudos Urbanos. São Paulo: Hucitec Edusp.

¹¹ SPIRN, A. W. (1995). *O Jardim de Granito*. A Natureza no Desenho da Cidade. Tradução de Paulo R. M. Pellegrino. São Paulo: Edusp.

¹² Ver a respeito no capítulo 2, item 2.1.1.1

meio principal de comunicação e projeto, com aponta Franco (1997), que é o Desenho Ambiental.

Esse planejamento que passa a ser preconizado, voltado para os princípios ecológicos, pode ser definido como o planejamento do uso dos recursos naturais pela sociedade, integrando conhecimento técnico e científico, que forneçam opções para a tomada de decisões sobre alternativas futuras, centradas no uso racional e sustentável dos recursos naturais. Uso sustentável implica no reconhecimento de que é necessária a proteção dos recursos ambientais e culturais para que o atendimento dos interesses do presente não comprometa a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas necessidades (PELLEGRINO, 2000).

Na Agenda 21, capítulo 7, é prescrita a necessidade de Planejamento ambiental e uso sustentável do solo, ao recomendar aos países a elaboração de um levantamento de seus recursos de solo, segundo o uso mais adequado, ressaltando que áreas ambientalmente frágeis ou sujeitas a catástrofes devem ser identificadas para medidas especiais de proteção. O mesmo documento ainda reconhece que o Planejamento Ambiental deve fornecer sistemas de infra-estrutura, ambientalmente saudáveis, que possam ser traduzidos pela sustentabilidade do desenvolvimento urbano, o qual está associado à disponibilidade de suprimentos de água, qualidade do ar, drenagem, serviços sanitários e rejeito de lixo sólido e perigoso.

Atingir o Desenvolvimento Sustentável dos ecossistemas, sejam eles urbanos ou não é o objetivo principal do Planejamento Ambiental, de forma a minimizar os gastos energéticos e os riscos de impactos ambientais.

2.1.1 Sustentabilidade Urbana

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu da Estratégia Mundial para a Conservação (World Conservation Strategy) lançada pela União Mundial para a Conservação (WCU) e pelo Fundo Mundial para a Conservação (WWF), apoiada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Esta estratégia propõe a busca de uma harmonização entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação do meio ambiente, com ênfase na preservação dos ecossistemas naturais e na diversidade genética, para a utilização racional dos recursos naturais.

Desenvolvimento Sustentável, segundo o Relatório Brundtland¹³ é o desenvolvimento que satisfaça as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer as suas próprias necessidades (ONU, 1987). Essa colocação contém dois conceitos-chave: o de necessidades, em particular as necessidades essenciais da pobreza mundial, às quais deve ser dada total prioridade, e o de limitações, impostas pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do meio ambiente de atender às necessidades atuais e futuras. Além disso, esse conceito supõe a sustentabilidade apoiada em três princípios fundamentais: a conservação dos sistemas ecológicos para a manutenção da vida e da biodiversidade, a garantia do uso sustentável dos recursos renováveis e a manutenção das ações do homem dentro da capacidade de suporte dos ecossistemas.

Marco do ambientalismo contemporâneo, a Agenda 21 ou Declaração do Rio é o documento resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente¹⁴, realizado em junho de 1992, no Rio de Janeiro, também conhecida como "Cúpula da Terra". Neste documento são apresentados 27 princípios para o alcance do desenvolvimento sustentado em escala global, firmando direitos e deveres aos países, de caráter individual ou coletivo.

A agenda 21, no capítulo 7, trata da necessidade de promoção do desenvolvimento sustentável dos assentamentos urbanos, do planejamento e ordenação sustentável do uso do solo, destaca a promoção de sistemas sustentáveis de transporte e energia, além de uma série de diretrizes para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. No capítulo 28, aborda a necessidade de participação e cooperação das autoridades locais na realização de seus objetivos através da elaboração de agendas 21 locais.

A agenda Habitat, resultado da conferência Habitat II ou "Cúpula da Cidade", realizada em Istambul, na Turquia, em 1996, coloca as cidades no foco do desenvolvimento sustentável, oferecendo um marco de objetivos, princípios e compromissos para a consecução de assentamentos urbanos sustentáveis.

¹³ Relatório elaborado pela World Commission to Environment and Development (WCED), intitulado *Our common future*, concluído em 1987, que registra sucessos e falhas do desenvolvimento mundial e reconhece de forma oficial o termo "Desenvolvimento Sustentável", declarando o meio ambiente como um autêntico limite de crescimento (ONU, 1998).

¹⁴ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (1988). *Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília, Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal.

Graças ao impulso dado por esses dois grandes eventos promovidos pelas Nações Unidas, Rio-92 e Conferência Habitat, toma vulto a discussão sobre Cidades Sustentáveis, evidenciando a necessidade de "ambientalizar" as políticas urbanas, ao construir cidades com estratégias ecológicas ou, em outras palavras, o reconhecimento de que "*o futuro da humanidade depende da qualidade do meio ambiente urbano*" (BONDUKI, 1996). Esse conceito é incorporado na lei 10.257/01 do Estatuto da Cidade, que estabelece como algumas de suas diretrizes gerais: a garantia do direito a cidades sustentáveis e o planejamento do desenvolvimento das cidades, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; a ordenação e controle do uso do solo para evitar a poluição e a degradação ambiental; a compatibilidade entre expansão urbana e sustentabilidade ambiental e a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído.

Na questão urbana, o paradigma da sustentabilidade se torna complexo, em virtude do modelo de desenvolvimento que vem sendo historicamente adotado, marcado pela expansão e consolidação dos centros urbanos à custa da exploração excessiva dos recursos naturais. No entanto, a consciência da necessidade de incluir as cidades na agenda global da sustentabilidade é universalmente reconhecida. Nesse sentido, como aponta Newman (1999), "*o movimento por cidades sustentáveis parece unido pela percepção de que o estado do meio ambiente demanda ação e que as cidades são um apropriado fórum para agir*".

Outros como Yanarella e Levine (1992 apud NEWMAN, 1999), sugerem que toda iniciativa de sustentabilidade deveria estar centrada em torno de estratégias de projeto, redesenho e construção de cidades sustentáveis. De uma perspectiva global os mesmos autores sugerem que as cidades conduzem o desenvolvimento do mundo e que nunca começaremos a implementar o processo de sustentabilidade, a menos que se possa relacioná-lo às cidades.

Para Platt (1994), a sustentabilidade urbana pode ser vista sob dois sentidos. O primeiro refere-se à proteção e restauração dos fenômenos e processos biológicos que restam dentro da comunidade urbana, reconhecendo-se os benefícios estéticos, psicológicos, educacionais e recreativos que as áreas naturais exercem sobre a população. Já no segundo sentido, a sustentabilidade urbana refere-se aos impactos das cidades sobre os recursos terrestres, aquáticos e atmosféricos da biosfera, da qual elas extraem sustento e sobre a qual impõem seus efeitos danosos. Nesse sentido, sustentabilidade

envolve questões como transporte, conservação de energia, redução da poluição hídrica e atmosférica, reciclagem de materiais e nutrientes, dentre outros.

As atuais proposta de cidades sustentáveis não contestam a cidade, mas visam um modelo de gestão e desenvolvimento urbano em convivência com sistemas ecológicos, preconizando o papel dos instrumentos de gestão ambiental, como o Zoneamento Ambiental (ZA) e a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA). Nessa proposta a cidade é abordada como lugar, com suas características e especificidades próprias, cuja gestão leva em consideração o ambiente de forma integrada para disciplinar e definir o adequado uso do território (MARCONDES, 1999), de forma a reduzir a demanda por matérias, energia e a geração de resíduos do ecossistema urbano (figura 2.1) (TURNER, 1998). Assim, a sustentabilidade está diretamente relacionada à capacidade de cada cidade, pensada como um ecossistema construído, prover-se com um mínimo de importação de recursos naturais, reduzindo as externalidades negativas fora de seus limites físicos.

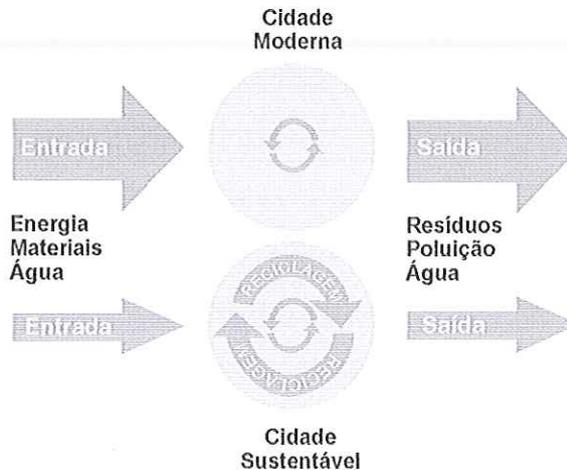


Figura 2.1: Cidades sustentáveis: menor consumo de energia e menor geração de resíduos.
Fonte: Adaptado de Turner (1998)

No entanto, definir estratégias para a sustentabilidade não é condição suficiente para a sua prática: a sustentabilidade só é atingida se contempladas ao mesmo tempo, as dimensões econômica, ecológica, social, espacial e cultural (SACHS, 1993), como resultado de esforços multi-setoriais. Igualmente importante é a participação da sociedade como um ingrediente essencial para traçar a rota do desenvolvimento sustentável, como tem sido exaustivamente mencionado em recente literatura sobre meio ambiente.(SOUZA, 2000; POMPEO, 1999; FRANCO, 1997; BRAGA, 2003;

PARTIDÁRIO, 1989). Isso pressupõe que se as atuais gerações preferirem a manutenção do *status quo*, e nenhum passo for tomado na busca pela viabilidade ambiental de nossas ações, o desenvolvimento sustentável não passará de uma utopia.

É importante acrescentar a essas dimensões, a consideração das escalas espacial e temporal de referência, que fornecerão maior ou menor amplitude à noção de sustentabilidade de um projeto ou sistema. O enfoque parcial aplicado na solução de problemas e a busca de benefícios em curto prazo têm sido uma fonte inesgotável de impactos negativos e de sistemas cuja manutenção territorial se torna insustentável com o tempo, uma vez que o desenvolvimento local nas cidades tem se condicionado à crescente insustentabilidade global dos processos de apropriação dos recursos dos quais elas dependem (RUEDA, 1998 apud ANGELINI, 2001). Dessa forma, a máxima "pensar global, agir local" se impõe como princípio norteador na conquista da sustentabilidade ambiental urbana.

Conforme resume Souza (2003) na figura 2.2, para que se atinja a sustentabilidade ambiental é necessário um equilíbrio entre as dimensões temporal (presentes e futuras gerações), espacial (meio físico, biótico e antrópico) e de participação da sociedade (identidade e co-responsabilidade).



Figura 2.2: Sustentabilidade Ambiental. Fonte: Adaptado de Souza (2003)¹⁵.

Partindo-se do princípio de que a sustentabilidade é a promoção da conservação dos recursos no planeta, então, promover o desenvolvimento urbano sustentável requer pensamento holístico na resolução de problemas ambientais para permitir que o meio

¹⁵ Souza, M. P. (2003). Nota de aula.

assegure a melhoria da qualidade de vida e seja preservada a sua capacidade física de auto-recuperação e de renovação.

2.1.1.1 Capacidade de Suporte

Na construção da cidade, a velocidade e a escala do processo de ocupação do solo, além da interferência abrupta que provoca no meio natural, reduz as condições de assimilação, impedindo que a natureza consiga absorver tais modificações. (MELO, 1996 apud PITTON, 2003). Isso significa que muitas das áreas urbanas estão ultrapassando a capacidade de suporte dos sistemas naturais, como apontam Brown e Jacobson (1987 apud PARTIDÁRIO, 1999), problemática que se coloca no âmbito geral e que se integra ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Em áreas urbanas, a questão da capacidade de suporte do meio encontra obstáculos devido às elevadas densidades demográficas e à concentração de atividades, que acarretam impactos ambientais cumulativos. Dessa forma, se um dado impacto tiver uma magnitude maior que a capacidade de resiliência de um dado ecossistema, esse entra em processo de extinção. Portanto, quando se destaca a determinação da capacidade de suporte, pode-se entender que, necessariamente, deve existir uma avaliação do meio em relação aos possíveis impactos associados à intervenção humana, de forma que esta seja compatível com a capacidade dos ecossistemas de absorver os impactos advindos das atividades instaladas, sem comprometer ou ultrapassar essa capacidade.

Para Spirn (1995), que concorda ser essencial considerar as paisagens urbanas como ecossistemas, apreciar as potencialidades dos fatores naturais urbanos e propor o entendimento dos mecanismos subjacentes dos ecossistemas como base para a garantia de sustentabilidade de projetos, os ecossistemas diferem em sua capacidade de suportar alterações e assimilar resíduos. A flexibilidade, afirma a autora, é uma medida da capacidade de um sistema de absorver mudanças, e alguns ecossistemas são mais flexíveis que outros, de forma que cada um tem um domínio de estabilidade característico, no qual o fluxo de energia e matéria flui e reflui, e os organismos crescem, reproduzem-se e se adaptam às mudanças. Assim, uma comunidade ecológica pode suportar perturbações desde que elas não ultrapassem a capacidade de resposta do sistema. No entanto, as condições-limite da maioria dos ecossistemas

ainda não são bem compreendidos, e representam um dos maiores contribuições da ecologia da paisagem ao projeto e planejamento de cidades.

Dessa forma, ao compreender-se a cidade como um ecossistema, entende-se o limite dentro do qual o sistema urbano pode reagir, assimilar e adaptar-se às mudanças, através da sua capacidade de suporte, definida por Souza (2000) como:

[...] a capacidade dos ambientes de acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividades antrópicas sem que suas funções naturais sejam fundamentalmente alteradas em termos de produtividade primária propiciada pela biodiversidade, e ainda assim proporcionar padrões de qualidade de vida aceitáveis às populações que habitam estes ambientes (Souza, 2000).

Partidário (1999) aborda o conceito de capacidade de planejamento que nada mais é que a extensão do conceito de capacidade de suporte ao planejamento do espaço, sendo definido como "a medida da possibilidade de uma região suportar um determinado nível de crescimento e desenvolvimento dentro dos limites impostos pelas infra-estruturas existentes e pela capacidade dos recursos naturais".

A discussão sobre a associação entre planejamento e capacidade de suporte do meio não é recente. Pellegrino (2000) destaca que, nas décadas de 30 e 40, o *Soil Conservation Service* (SCS), nos Estados Unidos, cria diretrizes para o uso adequado do solo através do desenvolvimento de mapas de capacidade de uso do solo (*land capabilities maps*), desenhados para determinar a vocação agrícola de uma área. É iniciado também, pelo SCS, o planejamento de áreas de mananciais, propondo considerar de maneira integrada o solo, a água, as plantas, a fauna e a população concernida. Dessa experiência se consolidam os novos paradigmas do planejamento da paisagem, em um esforço para se alcançar um balanço sustentável entre a acomodação de necessidades sociais e a proteção dos recursos culturais e naturais.

Já na década de 60, do último século, Ian McHarg¹⁶ emprega princípios da ecologia como a base da reconciliação entre sociedade e seu suporte biofísico, desenvolvendo o método denominado *suitability analysis*, que consistia na sobreposição de mapas temáticos (*overlays*), que depois de interpretados, revelam áreas apropriadas aos diferentes usos humanos. Nas décadas seguintes, com os avanços na tecnologia computacional aplicada ao planejamento da paisagem, juntamente com o surgimento da legislação ambiental de prevenção de impactos ambientais, passa a se utilizar a

¹⁶ McHARG, I. L. (1992). *Design with nature*. New York: John Wiley & Sons, Inc. (25ª edição).

sobreposição de mapas para identificar localizações apropriadas e inapropriadas para futuros usos do solo. Hoje em dia, a disponibilidade de sistemas de informações geográficas (SIGs) faz deste procedimento de combinar características existentes, uma atividade mais prática.

A cidade de Woodlands¹⁷, Texas, projetada por McHarg, se torna um exemplo bem sucedido de utilização do método de *suitability analysis* e de manejo de informações ecológicas para desenvolver um plano geral com critérios para implantação, calcados no "*balanço natural do regime hidrológico como a peça-chave para um planejamento ambiental bem-sucedido e um conceito orientador para o desenvolvimento*"¹⁸.

Um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente¹⁹ que determina as limitações e possibilidades do meio em questão é o zoneamento ambiental²⁰, que parte de uma caracterização do meio, quanto aos seus fatores físicos, biológicos e antrópicos e a atividade que se pretende implantar. O zoneamento ambiental pode direcionar os processos de produção dos espaços, priorizando a manutenção da qualidade ambiental e, se implementado, é uma condição fundamental para que os princípios da sustentabilidade possam fazer parte do processo de planejamento urbano. Portanto, para que o processo de urbanização tenha viabilidade ambiental é necessária a determinação da capacidade de suporte do meio, ou seja, uma avaliação em relação aos possíveis impactos associados à atividade urbana e a não superação dessa capacidade.

Reconhecer a interdependência entre os diversos elementos que compõem o ambiente levando em conta o estudo e visão ecossistêmica da cidade é o princípio da sustentabilidade urbana, de forma que o planejamento das atividades na cidade possa considerar os processos biofísicos básicos que estão por trás de seu desenvolvimento.

2.1.2 A cidade como Ecossistema

A necessidade de construir cidades com estratégias ecológicas ou sustentáveis passa pela consideração da cidade como um ecossistema construído – com recursos finitos –

¹⁷ Ver a respeito no capítulo 4, item 4.3.

¹⁸ McHARG, I. L. et al. (1975) *Woodlands new community*. An ecological plan. Houston – Texas: The Woodlands Development CO. apud PELLEGRINO (2000).

¹⁹ Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981).

de forma a orientar o uso dos recursos e a formulação do desenho urbano. Spirn (1995) explica porque vê a cidade como um ecossistema:

Um ecossistema é maior que a soma de suas partes. A energia e a matéria fluem em ciclos através do ecossistema urbano, ligando o ar, o solo, a água e os organismos vivos numa vasta rede (...) Esse conceito é uma ferramenta poderosa na compreensão do ambiente urbano: ele oferece uma estrutura para a percepção dos efeitos das atividades humanas e de suas inter-relações; facilita a avaliação dos custos e benefícios de ações alternativas; abarca todos os organismos urbanos, a estrutura física da cidade e os processos que fluem por ela; e é apropriado ao exame de todos os níveis da vida, de uma lagoa na cidade à megalópole (SPIRN, 1995, p. 268-269).

Em todo o século XX, a cidade é concebida como um *"lugar de caos político, uma máquina infernal, um circuito, e de forma mais promissora, como uma comunidade, uma criação humana por excelência"* (BRUGMAN e HERSH, 1991 apud NEWMAN, 1999).

"A cidade agora, prosseguem os autores citados, é concebida como um dinâmico e complexo ecossistema, o que não é uma metáfora, mas o conceito de uma cidade real". Como todos os ecossistemas, a cidade demanda energia e materiais. Os principais problemas ambientais urbanos são relativos ao crescimento dessas demandas e a gestão dos resíduos.

De acordo com Odum (1986 apud FRANCO, 2000), a cidade é um ecossistema, e, como tal, contém uma comunidade de organismos vivos, onde predominam o homem, o meio físico que se vai transformando, fruto da atividade interna, e um funcionamento à base de trocas de matéria, energia e informação.

Todo ecossistema é aberto, inclusive a biosfera, isto é, sempre via existir um ambiente de entrada e um ambiente de saída, essenciais para que o ecossistema funcione e se mantenha. Um ecossistema precisa assim de uma entrada para manter os processos vitais e na maioria dos casos, de um meio de exportar a energia e os materiais já processados (ODUM, 1988).

Ocorre que, mesmo ocupando apenas de 1 a 5% de área da superfície terrestre, as cidades conseguem alterar todos os componentes ambientais, devido às extensas áreas de entrada de materiais e saída de resíduos que elas demandam. Por isso, Odum (1986, apud FRANCO, 2000), classifica a cidade como um ecossistema incompleto ou

²⁰ Artigo 9º, inciso II (BRASIL, 1981).

heterotrófico, dependente de grandes áreas externas a ele para a obtenção de energia, alimentos, água e outros materiais.

Nesse sentido, Odum (1988) chama a cidade de "parasita rural" por esta não produzir nenhum alimento e outros materiais orgânicos, não purificar o ar e nem reciclar a água e os materiais orgânicos. Entretanto, reconhece que a cidade ou área metropolitana, não possui uma "ecologia" separada do campo circundante e acusa a ecologia urbana concebida pelas ciências sociais de limitada demais, apontando para um estudo novo sobre os ambientes urbanos, que vá muito além dos atuais limites, incluindo-se aí os ambientes de entrada e de saída pra que a cidade possa ser considerada um ecossistema completo.

Partindo da concepção de que as cidades têm uma dependência profunda e complexa de fatores externos, de acordo com Ultramari (1988), é preciso agregar o conceito de bio - região, o qual, por definição, é o conjunto do espaço construído e algo mais, entendendo a cidade como um ecossistema que não termina em seus limites político-administrativos ou nos extremos de sua mancha construída. Ao flexibilizar a abrangência daquilo que é considerado urbano esse conceito aumenta as possibilidades de uma cidade poder vir a ser caracterizada como espaço auto-sustentável.

Dentro da mancha urbana, é importante considerar os ecossistemas urbanos naturais. Bolund e Hunhammar (1999) fazem uma análise dos benefícios dos ecossistemas dentro dos limites da cidade à saúde pública e a melhoria da qualidade de vida das populações urbanas, identificando sete diferentes ecossistemas: árvores de vias, parques/jardins, florestas urbanas, solos cultivados, áreas alagáveis (*wetlands*), lagoas, mares/rios. Dentre os benefícios citados estão: filtração do ar, regulação microclimática, redução do ruído, drenagem, tratamento de águas servidas, valores culturais, amenidade e recreação.

Espera-se que o crescimento da consciência dos benefícios dos ecossistemas urbanos para a qualidade de vida possa contribuir para que estrutura e desenho da cidade estejam para o uso mais eficiente dos recursos. Entender a importância dos ecossistemas urbanos pode levar à manutenção e até à ampliação das áreas urbanas ainda não exploradas. Como é esperado o rápido crescimento das cidades nas próximas décadas, é importante que esses ecossistemas, pela sua importância para a

própria manutenção das áreas urbanas, sejam compreendidos e valorizados por planejadores e políticos na tomada de decisão.(BOLUND e HUNHAMMAR, 1999).

Da compreensão dos processos do ecossistema urbano local, nos seus aspectos naturais específicos, resulta o planejamento do uso e ocupação do solo, que irá fundamentar todos os aspectos do projeto físico da cidade: a localização de usos específicos do solo, a forma dos espaços verdes, do sistema viário, moradia etc, de forma a melhorar a qualidade do ar e da água, prevenir enchentes, recuperar as áreas degradadas, conservar a energia e os recursos. *Cada novo projeto na cidade, seja de um parque, um edifício ou uma rua deve ser visto não de forma isolada, mas em relação com o ecossistema urbano como um todo* (SPIRN, 1995).

O valor da natureza na cidade só pode ser plenamente contemplado quando o ambiente natural urbano é visto como um único sistema interativo e, como aponta Spirn (1995), a cidade compreende que a forma urbana e o interesse humano podem evoluir em harmonia com a natureza.

2.1.3 Desenho Ambiental Urbano

Desde 1960 tem havido o crescimento da consciência da necessidade de trazer os valores ambientais para o uso do solo e o manejo dos recursos naturais (FRANCO, 1997). Foi a partir desse período, quando ocorrem atitudes críticas ao planejamento moderno (comentadas anteriormente no capítulo 1) e discussões sobre a qualidade ambiental urbana, que surge novas manifestações como o Desenho Urbano, definido por Del Rio (2001) como "*o campo disciplinar que trata a dimensão físico-ambiental da cidade, enquanto conjunto de sistemas físico-espaciais e sistemas de atividades que interagem com a população através de suas vivências, percepções e ações cotidianas*", trazendo como uma de suas questões temáticas a gestão urbana democrática.

Dentro dessa nova ótica de planejamento, orientado para as intervenções humanas dentro da capacidade de suporte dos ecossistemas, que parte do princípio da valoração e conservação dos recursos naturais de um dado território, o Desenho Ambiental se torna seu meio principal de comunicação e de projeto. Segundo Franco (1997) o Desenho Ambiental Urbano pode ser definido como a arte e a ciência dedicada à valorização da qualidade de vida das cidades, sendo gerado pelo entendimento dos processos naturais e fundamentado na visão ecossistêmica.

De maneira semelhante, Spirn (1995) declara que o desenho da cidade deve ser fundamentado numa compreensão do ambiente natural urbano, para definir os usos do solo, a localização dos parques e praças, o desenho do sistema viário, de forma a integrar todos os sistemas urbanos num plano unificado. *"Se tratado de forma coesa e ampla, complementa a autora, um sistema de espaços abertos, constituído por praças, parques, corpos d' água e suas várzeas, encostas e ruas, passa a ser valorizado pelas diversas funções na melhoria da qualidade ambiental urbana"*.

Para Braga (2003) o desenho urbano deve interferir o mínimo nos aspectos naturais, considerar as características do meio físico, incluir todas as ações num conjunto sinérgico e harmônico e prever os impactos ambientais. Nesse sentido, a multidimensionalidade não pode ser negligenciada (COELHO, 2001), uma vez que a combinação de dois ou mais fatores poder acarretar grandes impactos no desenho urbano, por exemplo, o traçado de ruas em terrenos com alta declividade e vulnerabilidade à erosão.

Ainda que as preocupações com os problemas ambientais urbanos, como poluição, questões energéticas, enchentes e desmatamento sejam crescentes, os processos naturais continuam a ser negligenciados pelo desenvolvimento e o desenho urbano continua a operar com a premissa de que os processos naturais ecológicos não ocorrem na cidade, ou têm pequena relevância de desenho e forma.

O Desenho Ambiental, conforme aponta Franco (1997), está ligado a uma nova abordagem do planejamento territorial, que tem como forma de trabalho a criação de cenários prévios e se diferencia do Desenho Urbano Tradicional pelos seguintes pontos:

- Conceito Ecosistêmico, o qual pressupõe o equilíbrio entre os processos naturais, presentes na área de estudo, e onde são respeitados os fluxos de energia e de vida.
- Conceito de Conservação Ambiental, no qual são enfatizadas a autonomia e auto-suficiência, relativas, de todas as estruturas projetadas para o futuro, onde se minimizem os impactos ambientais e, portanto, não se sobrecarreguem as gerações futuras.
- A visão da urbanização como um ecossistema humano interligado aos ecossistemas naturais, dos quais depende e com os quais interage.

Um método promissor de considerar o meio ambiente no desenho urbano pode ser visto em *Design with nature*²¹, obra de Ian McHarg que coloca a necessidade de harmonia na relação entre o homem e o meio ambiente ao sugerir projetar com a natureza e não contra ela. Ele propõe uma análise de sensibilidade ecológica de cada componente do sítio ao desenvolvimento, a partir do seu papel no ecossistema. Essa análise consiste da sobreposição de uma seqüência de mapas ambientais, para se excluir as partes mais sensíveis do ecossistema ao desenvolvimento, fornecendo uma consistente e objetiva base para o zoneamento ambiental regional (BARNETT, 1982). Através da filosofia de "Design with nature", cresce a prática do planejamento visando ao manejo dos recursos de maneira sustentável.

Assim, ao compreender a cidade como um ecossistema, o que se busca é uma compreensão global, mesmo para atuações pontuais, que resulte em uma nova relação da cidade com a natureza, concretizada no desenho urbano. Através dessa percepção de desenho urbano se evita a fragmentação e degradação da natureza no ambiente da cidade.

2.1.4 Elaboração de Cenários Ambientais

Pode-se chamar de cenário ambiental a projeção de uma situação futura, para o meio ambiente, tendo em vista a solução de um problema ou a melhora de uma condição presente indesejável ou insatisfatória.

No processo de planejamento ambiental, a formulação de cenários constitui importante ferramenta, pela possibilidade de se testarem inúmeras alternativas simultâneas numa mesma ação projetual que, a qualquer momento, possam ser cruzadas para verificação de resultados parciais ou gerais. (FRANCO, 2000)

Para Döll et al. (2000) os cenários integrados são importantes ferramentas para o planejamento regional sustentável, por possibilitar a combinação de uma grande quantidade de conhecimento quantitativo e qualitativo e, ao mesmo tempo, contribuir para estimar como um futuro incerto pode reagir e como este poder ser influenciado pelas decisões feitas hoje.

²¹ Obra comentada anteriormente no item 2.1.1.1.

Sendo assim, os cenários são imagens alternativas do futuro, que devem ser plausíveis, além de suficientemente ricos em indicadores para contribuir na tomada de decisões. Esses possíveis futuros podem demonstrar o impacto que pode ocorrer devido à ausência de planejamento ambiental (MENDIONDO et al., 2004).

2.1.5 O papel das áreas verdes na qualidade do ambiente urbano

Como umas das conseqüências do modelo de ocupação territorial vigente, verifica-se a perda progressiva de corredores de vegetação natural, principalmente da vegetação das áreas ribeirinhas e de acidentes geográficos típicos. Como destaca Spirn (1995), essa negligência à vegetação traz como conseqüências, dentre outras, os piores aspectos do clima, poluição atmosférica, demanda crescente de energia e risco de enchentes.

No âmbito da Ecologia Urbana, há algum tempo vem sendo considerado o efeito de regulação que os fatores naturais exercem nas zonas urbanas. *“Se os fatores naturais inerentes à paisagem urbana forem reconhecidos e respeitados, afirma Laurie (1979 apud PARTIDÁRIO, 1999) referindo-se à vegetação e a fauna, ao solo natural e às águas, então a cidade enquanto ecossistema seria mais equilibrada e diversificada”*.

A manutenção do verde urbano é mais justificada atualmente pelo seu potencial em realçar aspectos associados à qualidade ambiental e enquanto provedora de benefícios ao homem, na melhoria da qualidade de vida pela manutenção das funções ambientais, sociais e estéticas que venham a mitigar ou amenizar os destrutivos efeitos da urbanização, uma vez que a ação humana é a principal causa da fragmentação dos ecossistemas, e esta, uma ameaça à biodiversidade.

No entanto, os elementos do patrimônio ambiental composto pelos córregos, rios, mangues, campos e remanescentes de florestas, quando protegidos e restaurados, são muito mais eficazes se estiverem articulados, formando uma estrutura (SMITH e RELLMUND, 1993), de forma que a cidade deveria ser concebida em conjunto, considerando os espaços verdes de forma integrada, compondo um sistema único (LLARDENT, 1982). Essa articulação mencionada requer que a seleção de áreas para parques seja feita nos primeiros estágios do processo de planejamento urbano e, como aponta Lima (1997):

Os espaços livres da cidade devem ser encarados dentro dessa perspectiva sistêmica de articulação de todas as partes: praças, parques, ruas, calçadas etc e não como uma colcha de retalhos desarticulada. [...] É absolutamente insuficiente preconizar áreas verdes por metro quadrado sem contemplar sua distribuição no desenho urbano.²²

Quanto às questões específicas da proteção dos recursos hídricos, do aumento do escoamento superficial e os conseqüentes altos picos de vazão, a vegetação, notadamente a que ladeia rios e córregos, contribui de diversas formas para resolver. Em áreas vegetadas, principalmente ecossistemas florestais, a água proveniente da chuva, antes de atingir o solo, pode ser interceptada pela vegetação (árvores, arbustos e herbáceas) e pela camada de folhas, ramos e outras estruturas vegetais que compõem a serrapilheira, em seguida, evapora ou cai na forma de gotejamento.

Tucci e Clarke (1997) apontam estudos em florestas brasileiras em que, do total de água precipitada, cerca de 13% pode se interceptado pela vegetação. Segundo os mesmos autores, a água que atinge o solo, diretamente ou após ser interceptada pela vegetação, pode infiltrar ou escorrer superficialmente, o que depende da topografia, do tipo de solo e da umidade já existente. A parte que infiltra pode percolar até o aquífero ou gerar um escoamento sub-superficial até atingir a superfície ou o canal fluvial, possibilitando sua perenização em períodos de estiagem. Enquanto que a água que escoar superficialmente, devido aos obstáculos ou a rugosidade da superfície (troncos, folhas, raízes etc.) tem sua velocidade reduzida.

Smith e Rellmund (1993) verificaram que, em áreas vegetadas, somente 5 -15% da água da chuva escoar pela superfície, com o restante evaporando ou infiltrando pelo chão, enquanto que em áreas sem vegetação, cerca de 60% da água da chuva é escoada pelo sistema de drenagem, o que afeta principalmente o clima e os níveis de lençol freático.

Costa (2001), explica de forma minuciosa o funcionamento da infiltração da água e redução do escoamento superficial em áreas vegetadas:

Toda vegetação, no seu ciclo de vida, deixa depositar no solo, resíduos de seu próprio organismo, galhos, folhas, frutos, que se decompõem, entram em reação com substâncias do próprio terreno e formam uma camada superficial rica em matéria orgânica, conhecida como húmus ou terra vegetal. Ao mesmo tempo, as raízes, ao se desenvolverem, penetram e abrem novos caminhos e fissuras, que desagregam o solo. Essa

²² LIMA, C. C. S. (1997). A Natureza na Cidade. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura - Universidade de São Paulo *apud* Ribeiro (2000). Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

desagregação é intensificada pela presença da vida animal que abre caminhos subterrâneos em busca de alimentação e espaços seguros para reprodução. A camada superficial do solo, composta pelo húmus e ocupada pelas ramificações das raízes, oferece grande capacidade de infiltração, absorvendo com facilidade as águas de chuva e reduzindo o percentual dos escoamentos superficiais. [...] O desmatamento e a impermeabilização do solo da bacia hidrográfica corta o ciclo de reabastecimento do húmus, potencializa os processos erosivos, diminui a capacidade de infiltração e aumenta o volume dos escoamentos superficiais, que atuarão diretamente no formato dos hidrogramas de enchente. A vegetação ciliar atua juntamente com a rugosidade do leito como mecanismos naturais de resistência à energia do escoamento, influenciando no potencial de retenção na calha do rio e conseqüente diminuição do pico do hidrograma de enchente. (COSTA, 2001).

A extrema importância do ambiente natural nas cidades na moderação dos impactos das atividades humanas tem levado, nas últimas décadas, muitos autores, tais como McHarg (1969), Spirn (1983), Forman e Godron (1986), Smith e Rellmund (1993), Ahern (1995), Searns (1995), Haughton e Hunter (1996), Turner (1998), Pellegrino (2000) e Fábos (2004), a indicarem, em seus trabalhos, especial atenção às funções ambientais das zonas verdes ou parques, sejam eles lineares (*greenways*²³), lindeiros aos corpos d'água, ou aqueles relacionados a outros aspectos físicos da paisagem. Os múltiplos propósitos relacionados ao planejamento das áreas verdes, indicados pelos autores enumerados, podem ser divididos nas seguintes categorias:

1. Relativos à biodiversidade: manutenção através da criação, conectividade e proteção de habitats;
2. Relativos aos recursos hídricos: áreas vegetadas ajudam na proteção, restauração e melhoria da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, (a) por reduzir a introdução de contaminantes, através da filtração de sedimentos trazidos pelo escoamento superficial, da utilização do excesso de nutrientes antes que esses alcancem o rio; (b) através da proteção das encostas contra erosão e (c) da recarga de aquíferos; além disso, a vegetação ribeirinha permite a redução do risco de enchentes, mediante retenção temporária de águas das chuvas;
3. Relativos a recreação/ lazer/ educação: incremento de atividades recreativas e esportivas, baseada nos recursos naturais, e de programas de educação ambiental.

²³ É um termo genérico para todos os tipos de espaços verdes conectados, formado uma estrutura linear com múltiplas finalidades (TURNER, 1998).

4. Relativos à circulação: integração dos vários tráfegos – veículos, pedestres, ciclistas – com a preservação ambiental, como mostra a figura 2.3.
5. Proteção dos recursos culturais e históricos: fornecimento de significativa herança histórica e valores culturais, por constituir elemento de beleza cênica, de identidade e percepção na paisagem urbana.
6. Controle da expansão urbana: contenção da urbanização e definição de uma interface entre urbano e rural.
7. Qualidade do ar: barreira contra ruído e como filtro de poluentes do ar.

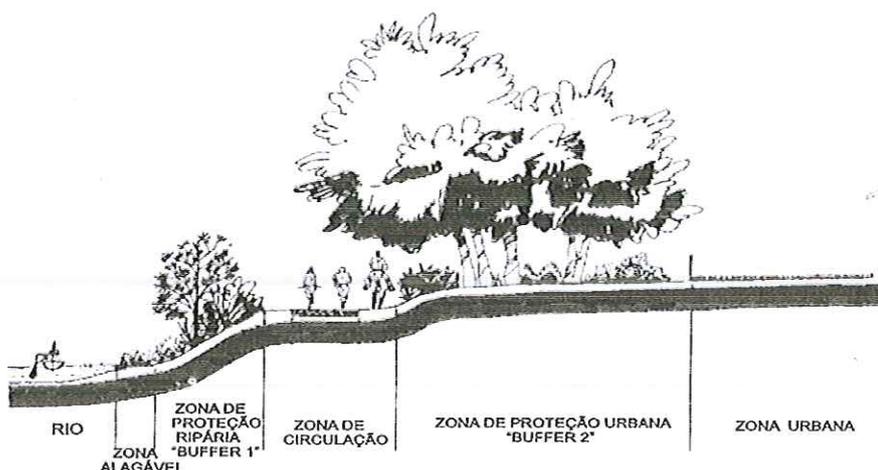


Figura 2.3: Seção de um corredor ecológico que pretende integrar objetivos de preservação e uso urbano.
Fonte: Adaptado de Searns (1995).

Constata-se que a vegetação, dentre os fatores naturais do ambiente urbano, é o de maior destaque devido as suas diversas funções apontadas anteriormente. Para preservar os sistemas naturais e maximizar o valor e o potencial de uso dos projetos de áreas verdes, o planejamento urbano deve considerar de maneira coesa e ampla os componentes do sistema natural, para que estes sirvam a muitos propósitos. Dessa forma, as áreas verdes deixam de ter apenas valor recreativo e estético e passam a melhorar a qualidade do ar e da água, proteger a biodiversidade, reduzir a erosão e os riscos de enchentes. Isto requer, como aponta Sorensen *et al.* (1996), uma articulação entre setores do planejamento, integrando o planejamento de áreas verdes com demais planos urbanos relacionados a drenagem, a tratamento de água, sistema viário, tratamento de esgoto etc.

CAPÍTULO 3 – DRENAGEM URBANA

“Do rio que tudo arrasta se diz que é violento. Mas ninguém diz:
violentas as margens que o comprimem...”

— Os sistemas clássicos e ainda atuais de drenagem urbana estão centrados na lógica do rápido escoamento das águas pluviais. Na quase totalidade dos casos, os projetos em aprovação nunca levam em consideração seus impactos na macrodrenagem. Com a expansão urbana e o conseqüente aumento das áreas impermeabilizadas, ocorre um substancial aumento de volume das águas da drenagem pluvial e uma diminuição no tempo de concentração da bacia, o que provoca uma sobrecarga na macrodrenagem a jusante, acarretando, na maioria das vezes, inundações, erosões nas margens, danos a pontes e estradas etc.

Outro problema que ocorre na maioria dos municípios brasileiros é a falta de profissionais capacitados para equacionar os problemas de drenagem. Muitos projetos são sub avaliados ou sub dimensionados por falta de informações ou deficiência de formação profissional, além da não consideração da capacidade de suporte das estruturas instaladas.

Na atual política de drenagem, de acordo com Tucci (2004), quando um loteamento é projetado, o município exige apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento, não sendo exigida a avaliação do impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia. Sem controle por parte do poder público sobre a urbanização, a combinação do impacto de diversos loteamentos a montante leva ao aumento da ocorrência de enchentes a jusante.

Ainda de acordo com Tucci (2004), a gestão municipal é realizada de forma totalmente setorial, sem a menor integração entre os diferentes componentes da água no meio urbano. O Plano Diretor tem contemplado apenas a densificação urbana baseada no sombreamento e tráfego, sem considerar os impactos sobre a quantidade e qualidade da água.

Para Silveira (2000), no Brasil, ainda hoje, na grande maioria dos municípios, a drenagem urbana está situada no contexto higienista de evacuação rápida, combinada com a rede de esgoto pluvial separada da rede de esgoto doméstico (sistema separador absoluto). O modo de pensar atual está mais para a drenagem urbana que para a hidrologia urbana.

Há a necessidade de se implantar uma nova cultura junto à população, aos Poderes Executivo e Legislativo, no sentido de se demonstrar que o planejamento integrado baseado em medidas não estruturais, que requerem menores recursos financeiros, poderão evitar ou minimizar as catástrofes que penalizam as cidades.

3.1 O conceito higienista

- O movimento higienista surgido na Europa no final do século XVIII valeu-se da “teoria dos meios”, para a qual os males eram advindos da estagnação de todo o tipo de - água, lixo e homens. Dessa forma, a circulação transformou-se na palavra de ordem da engenharia sanitária (FRANCO, 1997), preconizando como medida de saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas ou empoçadas nas cidades, assim como dos dejetos domésticos jogados nas vias públicas. Surge o conceito de evacuação rápida para longe, por meio de canalização subterrânea, de toda a água circulante na cidade, passível de infecção e contaminação (SILVEIRA, 2000).

O Brasil, após a Proclamação da República em 1889, vive um período de reformas urbanísticas no qual consolidou-se o conceito higienista do saneamento, que teve seus princípios aplicados na esfera urbana como tentativa de extinção dos problemas advindos da rápida urbanização diante da pouca capacidade de suporte do meio. As ações preconizadas por este pensamento, que tanto foi difundido pela intelectualidade brasileira, eram guiadas pela racionalidade e confiança nos poderes da técnica e da razão humanas para domínio do meio físico. Os impactos das intervenções sob esta ótica, que serão apontados adiante, demonstram deficiências que se acumulam, pelo fato de desconsiderarem o meio físico, os agentes sociais de produção do espaço e as especificidades do meio, trinômio indispensável ao planejamento ambiental.

- Sob estes princípios foram estabelecidas infra-estruturas urbanas em diversas localidades, estando inclusive em uso atualmente. O principal objetivo é o de eliminar quaisquer meios de transmissão de doenças e de incômodos à circulação da maneira mais rápida,

utilizando-se de tubulações subterrâneas associadas ao sistema viário, localizadas em pontos baixos – os fundos de vale - para que funcionem apenas pela ação da gravidade. Mas, se por um lado as intervenções em fundo de vale solucionaram, em parte, os problemas sanitários, por outro lado geraram uma aceleração na apropriação dessas áreas e problemas de ordem econômica, social e ambiental.

No Brasil a prática de ocupação de fundos de vale com avenidas associada à canalização de rios e obras de saneamento se intensificou a partir da década de 70, como “soluções” que persistem ainda hoje, cujos impactos se intensificam, devido ao efeito cumulativo.

A aceitação e profusão dos princípios higienistas se deu pela situação de crise estabelecida associada a vantagens de ordem econômica, mais do que como um processo de planejamento. A persistência deste tipo de visão, guiada por uma ótica econômica, faz com que cada vez mais sejam subutilizados os fundos de vale em municípios brasileiros:

Em geral, o poder público só dá atenção à sua existência, tratando-o como um mal a ser suprimido, quando o curso d'água é alcançado pela deterioração urbana e seu fundo de vale é atingido por enchentes, exala mal cheiro ou é foco de epidemias. (...) O fim deste processo é uma cidade em que os fundos de vale transformaram-se em um sistema de esgotos nem sempre tubulados ou canalizados, correndo sob ou entre grandes vias áridas, raramente necessárias ao transporte da cidade e mais adaptadas aos automóveis que aos seres humanos (Silva, 2002).

Além disso, nesse tipo de intervenção, não é considerada a produção social do espaço e o sistema viário como um elemento estruturador da ocupação urbana, o que acaba direcionando o crescimento urbano ao longo das faixas de proteção, vistas como um espaço neutro.

3.2 A cidade e as cheias

As regiões urbanizadas, apesar de ocuparem áreas reduzidas em uma grande bacia hidrográfica, provocam alterações de tal intensidade no regime hídrico que afetam uma extensa região e, ao modificar completamente o comportamento de córregos e riachos, produzem um regime hídrico urbano característico (SPIRN, 1995).

De acordo com Tucci (2001), as condições hidrológicas que produzem as cheias em áreas urbanas decorrem, basicamente, de dois processos que podem ocorrer de forma isolada ou em conjunto: as enchentes naturais, denominadas *enchentes ribeirinhas*, e as relacionadas à urbanização. As primeiras, explica o autor (op. cit.), “*são decorrência do processo natural do ciclo hidrológico, no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos*”. Nesse caso, os impactos sobre a população resultam da ocupação

inadequada dessas áreas, tendo como um dos fatores mais agravantes a inexistência, no Plano Diretor Urbano da maioria das cidades brasileiras, de restrições quanto ao loteamento de áreas sujeitas à inundação, além do abandono das mesmas e invasão por população de baixa renda.

Já as inundações provocadas pela urbanização são decorrentes, principalmente, da impermeabilização do solo, que reduz a evapotranspiração e provoca alterações na taxa de escoamento superficial em períodos de precipitação intensa, elevando em até seis vezes o pico de cheia na bacia em relação às condições naturais. (TUCCI, 2002; DUNNE E LEOPOLD, 1978 apud TURNER, 1998; SPIRN, 1995). Outros fatores adicionais são: transformações no ciclo hidrológico, obstrução do escoamento devido à deposição de sedimentos e resíduos sólidos no sistema de drenagem e a inadequação dos projetos de drenagem, que tem como princípio a retirada da água excedente o mais rápido possível do local de origem. As enchentes provocadas pela urbanização têm se agravado notadamente a partir da década de 60, em decorrência das obras de drenagem, que ao canalizar e/ou "envolver" a maioria dos riachos e córregos, aumenta a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, a velocidade de escoamento das águas precipitadas (RUTKOWSKI, 1999).

Nesse quadro de desequilíbrio dos recursos hídricos urbanos, evidenciado pelos problemas ambientais associados às enchentes e à deterioração da qualidade das águas, Mota (1988 apud FONTES, 2000) declara que as ações de regulamentação de uso e ocupação do solo são capazes de prevenir os fatores de ampliação dos deflúvios, ao evitar a impermeabilização intensiva da área e ordenar a ocupação das áreas ribeirinhas inundáveis, de forma que não se sacrifique a capacidade natural de armazenamento e escoamento das calhas dos rios.

Embora os impactos da drenagem sejam sempre gerados pela urbanização inadequada, no Brasil *"a posição que se costuma adotar é de resignação frente à fatalidade de um evento 'natural' "* (TUCCI e COLLISCHONN, 2000), o que faz com que a maioria da população se exclua por completo da co-responsabilidade e co-participação no desencadeamento do fenômeno.

Diante do exposto, pode-se assegurar que o problema das águas urbanas deve ser enfrentado com a articulação das políticas ambiental e urbana, dentro das atuais propostas de gestão de microbacias como unidade física de planejamento e desenvolvimento urbano.

CAPÍTULO 4 – BACIA URBANA SUSTENTÁVEL

“A Natureza pode ser considerada como um processo de interação, que responde a leis, constituindo um sistema de valores, oferecendo intrínsecas oportunidade e limitações aos usos humanos.”

IAN MCHARG

O termo “bacia urbana sustentável” deriva do conceito de sustentabilidade, que tem sido universalmente aplicado. Para Pompêo (1999) a perspectiva de sustentabilidade em relação a drenagem urbana introduz uma nova forma de dirigir ações nesse campo, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre o ecossistema natural, o sistema urbano artificial e a sociedade. Esta postura exige que drenagem e controle de cheias em áreas urbanas sejam reconceitualizadas em termos técnicos e gerenciais.

Nessa nova concepção de drenagem urbana, focada nas questões ambientais, está a busca de soluções harmoniosas e integradas entre o sistema urbano e o natural como fator significativo para a prevenção de inundações. Nesse sentido, o planejamento das atividades urbanas relacionadas à água precisa ser integrado ao sistema de planejamento, incluindo o planejamento da malha urbana e de sua expansão, o zoneamento das atividades, o traçado viário, aspectos da paisagem, dentre outras atividades.

4.1 Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental

De forma geral, uma bacia hidrográfica pode ser subdividida em dois compartimentos interdependentes, caracterizados geomorfologicamente por uma região de terra firme e uma de planície, onde podem ser encontrados o rio principal e as áreas alagáveis. As regiões planas, representadas pelas áreas alagáveis, desempenham um importante papel ecológico no controle das inundações, regulando as enchentes e vazantes do rio principal. Em geral, essas áreas funcionam como um eficiente filtro biológico, garantido a qualidade do recurso hídrico. Esta função de regulação da quantidade e qualidade da água do sistema é de extrema importância não somente para este compartimento,

como também para toda a bacia, o que a torna um sistema estratégico para a sustentabilidade das atividades em termos regionais.

Portanto, as ações de Planejamento Ambiental em uma bacia, por serem ecossistêmicas e voltadas a conservação dos recursos naturais, devem ser focadas nos efeitos das atividades antrópicas sobre essa região, levando em conta os seus limites, que na maioria das vezes transcendem os limites políticos das áreas urbanizadas.

Diante das interferências das intervenções humanas e de sua função em relação aos recursos hídricos, a bacia hidrográfica é considerada como a unidade territorial mais adequada para o planejamento e gerenciamento das águas. No Brasil, essa estratégia é incorporada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)²⁴, ao apresentar como um dos fundamentos que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a sua implementação²⁵.

Visto que a quantidade e qualidade dos recursos hídricos são fatores diretamente ligados não só aos usos da água, mas também aos usos do solo na bacia, a PNRH inclui no conteúdo mínimo dos Planos de Recursos Hídricos da bacia, "*propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos*"²⁶. Também no texto dessa lei, constitui como uma diretriz geral de ação "*a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo*"²⁷. Entretanto, o planejamento urbano continua dissociando do planejamento por bacia hidrográfica, pois, como discute Ranieri (2004), os entes federativos que detêm o poder de legislar e executar as normas (os municípios, particularmente no caso do uso do solo), ainda não planejam de acordo com os limites das bacias hidrográficas, mas, das divisões político-administrativas. Por esse motivo, a integração dos instrumentos da política ambiental com os da política pública encontra dificuldades do ponto de vista prático.

Portanto, o princípio do planejamento territorial, por meio de bacia hidrográfica, que já vem se impondo com o apoio da legislação federal, a lei das águas, ainda precisa se articular com a legislação municipal, uma vez que, as bacias e micro-bacias hidrográficas são unidades obrigatórias para abordagem do planejamento urbano, na

²⁴ Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997).

²⁵ Artigo 1º, inciso IV (*ibidem*).

²⁶ Artigo 7º, inciso X (*ibidem*).

²⁷ Artigo 3º, inciso V (*ibidem*).

medida em que o destino de tudo que é gerado na aglomeração urbana, interfere em toda a bacia onde ela está inserida.

Os desafios constantes no planejamento, projeto e manejo da bacia hidrográfica, para além da ampla visão espacial e temporal da área, devem estar voltados também ao enfrentamento das principais questões sociais, culturais e ambientais presentes, como o abastecimento de água, a drenagem, transporte, circulação, recursos naturais, agricultura, relações comunitárias e culturais. Por estar voltado a múltiplos objetivos, esse planejamento requer equipes que lidem com temas multidisciplinares.

Cabe mencionar que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental se integra à nova abordagem da drenagem urbana, denominada hidrologia urbana, focada nas questões ambientais do saneamento, que não admite mais uma visão exclusivamente racionalista da circulação das águas e esgotos no espaço urbano. Como avalia Silveira (2000), essa nova ótica, estabelecida pelos países desenvolvidos, decorre da necessidade de conhecimento e controle das relações, freqüentemente conflitantes, entre a cidade e o ciclo hidrológico, o que conduziu a uma reflexão mais profunda das conseqüências das ações antrópicas sobre o meio ambiente, particularmente sobre os recursos hídricos. Dentro dessa nova abordagem, a hidrologia urbana atual se propõe a realizar pesquisas, de caráter multidisciplinar, sobre o efeito da urbanização no escoamento de bacias hidrográficas e sobre propostas de ocupação do espaço urbano que reduzam os impactos da expansão urbana sobre o ciclo hidrológico.

No Brasil, o grande interesse pela hidrologia urbana foi impulsionado pela freqüência de grandes eventos de precipitação que assolam as grandes cidades nas últimas décadas, o que condicionou pesquisas em simulação do ciclo hidrológico de grandes bacias, com o desenvolvimento de modelos hidrológicos. Várias cidades brasileiras, levantadas por Silveira (2000), têm sido objeto de estudos hidrológicos, como Curitiba, Porto Alegre e São Paulo.

Em São Carlos, estudos em simulação hidrológica de bacias urbanas também têm avançado ultimamente. Um exemplo é o trabalho de Ohnuma Jr. (2005), voltado para o planejamento e recuperação ambiental da Bacia do Alto Tijuco Preto, através da simulação de cenários com medidas de controle de enchentes, como o reuso de água pluvial. Em outro estudo, realizado por Queirós (1996), foi utilizado modelo hidrológico

acoplado ao sistema de Informações Geográficas (SIG) para simular cenários de desenvolvimento urbano na Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos- SP. Além desses, vale citar o trabalho de Benini (2003), que procura estabelecer cenários, avaliando os riscos de enchentes à jusante da micro-bacia do Córrego do Mineirinho, devido ao crescimento urbano e às taxas de impermeabilização pela implantação do novo Campus da USP nessa região.

4.2 Medidas para o planejamento da drenagem urbana

As medidas de manejo das águas superficiais de uma bacia urbana pretendem conciliar as funções que os dispositivos naturais têm no ciclo hidrológico com a necessidade de expansão urbana, contribuindo para preservar a capacidade de retenção das depressões, a permeabilidade do solo e a cobertura vegetal, mantendo as suas características de infiltração e retenção, o armazenamento das várzeas etc (BARTH, 1997).

O planejamento, desenvolvimento e gestão de um eficiente sistema de drenagem urbana numa estratégia de mitigação de inundações ocorrem através de uma bem coordenada e balanceada combinação de medidas não estruturais e estruturais. (MAKSIMOVIC e TODOROVIC, 1998; TUCCI e VILLANUEVA, 2000; KUNDZEWICZ, 2002; GRANZIERA, 2001). Tucci (2001) menciona que a integração entre medidas preventivas (não-estruturais) e soluções estruturais deve ser compatível com o controle do desenvolvimento urbano, considerando a bacia como um todo e não trechos isolados.

Na tabela 4.1, são apresentadas, em resumo, as estratégias e opções que geralmente fazem parte de todo plano de gestão de enchentes, dadas pela Organização Meteorológica Mundial (2004). Na mesma tabela há a classificação das opções quanto ao tipo de medida (não-estrutural ou estrutural).

Em geral as medidas não estruturais, por serem preventivas, tendem a ser as mais adequadas para as áreas não desenvolvidas e as estruturais às áreas já urbanizadas, por tenderem a ser mitigatórias. Quando o desenvolvimento da urbanização é considerado, grandes resultados podem ser obtidos com as medidas não estruturais de controle de enchentes.

O conhecido fenômeno mundial de investimento de enormes somas de dinheiro na implementação de medidas estruturais e que todos os dias causa grandes danos está se tornando injustificável, resultado da negligência das medidas não estruturais (BEG E SHAKIL, 1998). Mendiondo (2005), ao apresentar propostas de gestão de risco de enchentes para áreas urbanas nos trópicos úmidos, considera a importância da adoção de medidas preventivas antecipadas no planejamento urbano, uma vez que as perdas decorrentes de enchentes equivalem a cerca de 25 vezes o investimento em medidas preventivas.

Tabela 4.1: Estratégias e opções em gestão de enchentes. Fonte: Adaptado de Organização Meteorológica Mundial (2004).

<i>Estratégia</i>	<i>Opções</i>	<i>Classificação</i>
Redução de Inundações	Represas e reservatórios	Estrutural
	Diques e obras de contenção	Estrutural
	Desvio de avenidas	Estrutural
	Gestão de bacias *	Não- estrutural
	Melhoramento de canais	Estrutural
Redução da vulnerabilidade aos danos *	Regulamentação das planícies de inundação *	Não- estrutural
	Políticas de desenvolvimento e reaproveitamento	Não- estrutural
	Código habitacional e de construção	Não- estrutural
	Estruturas a prova de enchentes	Estrutural
	Previsão e alerta de enchentes	Não- estrutural
Mitigação dos efeitos das inundações	Informação e educação	Não- estrutural
	Preparativos em caso de desastres	Não-estrutural
	Medidas de recuperação pós-inundação	Estrutural
	Seguro contra inundações	Não- estrutural
Preservação dos recursos naturais das planícies de inundação *	Zoneamento de áreas inundáveis*	Não- estrutural

* Estratégias e medidas abordadas nesse trabalho.

Ocorre que ao tentar corrigir os problemas advindos da crescente expansão urbana, a visão ainda atual dos administradores públicos e a expectativa da população é de se realizarem obras (canalizações, alargamentos, aprofundamento do leito etc) e raramente são propostas medidas não estruturais. No entanto, medidas de caráter estrutural acarretam pesados investimentos por parte dos poderes públicos, e que poderiam ser em muitos casos minimizados com a aplicação de políticas voltadas ao

controle das vazões "in loco" e rigorosas restrições à ocupação das áreas do leito de inundação dos corpos d'água, através de uma legislação específica e da implementação de um Plano Diretor para o gerenciamento do uso e ocupação do solo e da drenagem urbana.

Os custos estimados para implementação medidas estruturais de drenagem urbana em áreas com alagamento são da ordem de US\$ 1-2 milhões/km², enquanto que planejando o controle através de medidas não-estruturais (legislação e controle na fonte), o custo é praticamente inexistente para o poder público (TUCCI, 2004).

Niemczynowicz (1998) enfatiza a necessidade de adoção de uma filosofia de planejamento baseada numa abordagem ecológica, ao invés de soluções puramente estruturais. Com relação ao sistema de drenagem urbana, ele aponta para uma visão global das soluções de drenagem, com o advento de BMPs (Best Managements Practices), também chamadas de *Stormwater management measures*, que visam o controle da qualidade e quantidade da água através da combinação de medidas estruturais e não estruturais, dentro de um abordagem ecológica, ao considerar a precipitação como recurso a ser preservado ou usado como recarga, localizando os pontos de retenção e infiltração de maneira ecologicamente conveniente.

Esse programa de BMP, desenvolvido pela EPA (Environmental Protect Agency), nos Estados Unidos, segundo o referido autor, é obrigatório em cidades americanas com mais de 100.000 habitantes, envolvendo a busca por soluções sustentáveis e de minimização de impactos sobre a quantidade e qualidade dos sistemas de esgoto e drenagem urbana.

Para Fendrich (1999), é de suma importância promover a curto e médio prazo o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área de drenagem urbana que contemplem os aspectos técnicos da hidrologia, hidráulica, saúde e meio ambiente, além dos aspectos sociológicos traduzidos pela política institucional e legal do setor.

Os países desenvolvidos, segundo Tucci (2000) já no início da década de 70, adotaram soluções que priorizavam o controle "na fonte" do escoamento gerado pela urbanização, ou seja, no lote ou no loteamento, dentro de uma filosofia de que "*o melhor projeto de drenagem é o que mantém as vazões máximas iguais ou menores as das condições naturais*". Turner (1998), considera que através dessas políticas

também denominadas "*zero run off*", o desenvolvimento não deve aumentar o volume de escoamento superficial.

Kelman e Niemcznowicz (1998), assim como Silva (1998) destacam o papel das leis, regulamentos de controle do uso do solo e a conscientização da sociedade no esforço de implementar medidas de controle de enchentes.

Tucci e Villanueva (1999) observam que as medidas não estruturais enfrentam maior dificuldade na sua implementação, uma vez que elas interferem nos direitos da população de algumas áreas da cidade. No entanto, seu baixo custo e impacto ambiental trazem mais benefícios para a comunidade.

Estudar os impactos das águas de chuva sob um enfoque ambientalista e, sobretudo, adotar uma visão sistêmica para solução do problema da drenagem deve ser a nova visão de gerenciamento da drenagem e a preocupação maior dos dirigentes e técnicos responsáveis pela drenagem urbana.

4.2.1 Medidas estruturais comumente empregadas

No sistema tradicional de drenagem, baseado no conceito higienista, as soluções são baseadas em medidas estruturais, que consistem na rápida condução das águas do escoamento superficial, através da execução de obras hidráulicas como: retificação de rios, canalização e execução de condutos subterrâneos, dentre outras medidas. Seu princípio de atuação é sobre os hidrogramas gerados, não agindo sobre as causas (fontes) dos hidrogramas. Além disso, atuam de forma localizada para resolver um problema já existente e envolvem altos custos (SOUZA, 2002).

A prática da canalização dos cursos d'água urbanos, técnica comum e equivocada destinada a controlar inundações e drenar áreas alagáveis, compromete os recursos hídricos na medida em que afeta as características geomorfológicas ao longo e acima do trecho canalizado. O compartimento biótico é alterado nas áreas riparianas e inundáveis, com a provável perda da capacidade autodepurativa de córregos e rios (HUPP, 1992 apud OLIVEIRA, 1996). Embora as áreas inundáveis ocupem pequena porção da superfície terrestre (aproximadamente 3%), são responsáveis por 12% do estoque de carbono orgânico global, conseqüentemente, a drenagem de áreas

alagáveis por práticas diversas altera não somente a vegetação, mas também promove a diminuição dos estoques do carbono orgânico do solo (DE LA CRUZ, 1986 apud OLIVEIRA, 1996). Comprometem ainda o balanço dos ciclos biogeoquímicos, a erodibilidade e a estabilidade ecológica das várzeas e inevitavelmente promovem alterações do regime hidrológico dos cursos d'água.

Esta noção de intervenção, guiada por interesses econômicos, com respostas pontuais e de curto tempo de vida, que negam os interesses difusos na medida em que "empurram" o problema para jusante, persiste em detrimento ao planejamento global e a medidas não - estruturais de intervenção.

↘ A experiência tem mostrado que a canalização de cursos d'água, fechada ou aberta, não assegura o controle das inundações nem as adequadas condições sanitárias usualmente apregoadas (Tucci, 1995). Chernicharo e Costa (1995, *apud* POMPÊO, 2002) ao tratar desse tipo de medida estrutural verificam que, diante de uma chuva intensa sobre a bacia hidrográfica, ocorrerá como consequência a extravasão nos canais, se abertos, e, no caso do canal fechado, não mais haverá a condição de conduto livre e sim, conduto forçado, sendo desenvolvidas pressões internas nas paredes do canal, ocasionadas pelo afogamento total da seção transversal; isto potencializará a situação da enchente, pelo represamento e propagação das águas para montante imediatamente, afogando todas as saídas dos emissários que descarregam águas pluviais no canal de macrodrenagem.

Portanto, este tipo de medida estrutural implementada em locais nos quais o problema já existe, dissociado de preocupações que levem em conta toda a bacia hidrográfica, torna-se dispendioso e de curto prazo, já que se não houver a disciplina do uso e ocupação do solo, o processo de crescimento urbano e impermeabilização do solo agrava cada vez mais os problemas relacionados à drenagem, como transbordamento de canais e inundações.

Dessa forma, a utilização da engenharia convencional tem se mostrado insatisfatória para a solução dos problemas de drenagem em nossas cidades. Através da abordagem não estrutural, apresentada a seguir, é possível enfrentar de modo duradouro o problema das enchentes e conciliar urbanização e preservação ambiental.

4.2.2 O papel das medidas não estruturais

O conceito de medidas não estruturais de proteção de enchente refere-se a medidas de proteção e métodos de minimização dos riscos das enchentes definidos pela provisão legal e planejamento físico das áreas afetadas, cuja ênfase está na gestão da bacia. Envolve leis e regulamentos para a minimização dos riscos, planejamento para o desenvolvimento e uso das áreas sujeitas à inundação, sistema de alerta de enchentes, zoneamento de áreas de inundação etc.

Cada método é sujeito a limitações e implicações de ordem física, econômica e social. A decisão final na seleção do melhor cenário para controle de enchentes é baseada no custo-benefício e no nível de risco aceitável entre as diferentes alternativas, na sustentabilidade e na implicação prática de cada alternativa. (KARAMOUZ E ZAHRAIE, 1998).

Ultimamente tem se dado maior atenção às medidas não estruturais de controle de enchentes devido ao avanço nos modelos e técnicas de gestão, tanto quanto aos avanços da tecnologia na área de medição e transmissão de dados, tecnologia de satélite e sistema de alerta de enchentes.

Ao considerar medidas não estruturais, Nascimento e Orth (1998) declaram que é essencial o adequado conhecimento sobre o ambiente físico e geográfico onde os problemas ocorrem e uma percepção espacial dos componentes básicos como os rios, áreas de preservação permanente, declives e baixadas. Os mapas necessários para uma avaliação não-estrutural, segundo os autores são: cobertura vegetal; porcentagem de impermeabilização do lotes; vulnerabilidade à erosão; nível de permeabilidade do solo; declividades; topografia; e drenagem natural e artificial.

De acordo com Girling e Kellett, as BMPs não-estruturais podem ser projetos para aumentar a superfície de drenagem natural e ao mesmo tempo contribuir para a minimização da poluição provocada pelas chuvas, através de sistemas baratos, aparentemente naturais e que servem a muitos propósitos como recreação e desenvolvimento de habitats naturais. São os sistemas "naturais" ou abertos de drenagem, que imitam a hidrologia natural, por capturar água da chuva e diminuir o escoamento superficial. Protegendo e aumentando a superfície de drenagem natural, esse sistema envolve proteção de corredores ripários, áreas alagáveis (wetlands),

planície de inundação, além de melhorar a capacidade de infiltração, através de práticas como uso de pavimentos porosos, redução de superfícies impermeáveis e maximização de cobertura vegetal.

Durante as discussões no Workshop Internacional "Medidas Não Estruturais de Controle de Enchentes em Áreas Urbanas"²⁸ foi endossado o princípio da integração de soluções e a adoção de uma filosofia de controle "na fonte", através de dispositivos que amortecem o escoamento e aumentem a infiltração, como o uso de pavimentos permeáveis ou semi-permeáveis em ruas e calçadas, a minimização de superfícies pavimentadas e densificação da vegetação. O reflorestamento foi apontado como uma estratégia essencial de controle de enchente.

Para Kundzewicz (2002) a idéia de "captar a água onde ela cai" é implementada através de medidas que aumentem a área de infiltração, aumentem a área permeável e possibilitem a reserva através de lagoas ou reservatórios artificiais.

Turner (1998), também considerada como importante medida de controle na fonte a infiltração das águas pluviais através de áreas de detenção e retenção, cujas vantagens são: melhoria da qualidade da água, diminuição da quantidade de poluentes na estrutura de drenagem, redução de enchente a jusante, da erosão e do custo do sistema de drenagem, reposição de água ao subsolo, entre outras.

O plano diretor de Porto Alegre introduz artigos relativos à drenagem urbana, que contempla medidas de controle na fonte ao obrigar que todos os projetos de loteamentos devam manter as vazões pré-existentes. (TUCCI, 2002).

Uma das medidas preventivas mais citadas para o planejamento do sistema de drenagem é o Zoneamento de áreas de inundação.

De acordo com Faisal *et al* (1999), países desenvolvidos, a exemplo dos Estados Unidos, introduziram o conceito de zoneamento de áreas sujeitas a enchentes (*flood zoning*), que define categorias de uso do solo, baseadas nas suas características climáticas, topográficas, geográficas e no risco de inundação, de forma a estabelecer zonas para o controle de ocupação, restringindo usos em faixas mais propícias e

²⁸ Workshop organizado pela UNESCO, em abril de 1998, como resultado do IHP-V (International Hydrological Programme, phase V), projeto que pondera custos-risco-benefícios das medidas não-estruturais de controle de enchentes em áreas urbanas. Ver a respeito International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas. University of São Paulo, Brazil, 1998.

condicionando usos em áreas menos propícias às cheias. Através de regulamento, assegura-se que essas áreas sejam poupadas de uso intensivo.

Maksimovic e Todorovic (1998) recomendam a transformação das áreas demarcadas pelo zoneamento das várzeas em áreas públicas ou parques.

Um meio comumente sugerido de incorporar a gestão de enchentes ao sistema de planejamento de uso do solo é, baseado no mapeamento e caracterização das planícies de inundação na bacia e demarcadas as áreas sujeitas à enchente, propor limites a partir da extensão geográfica de cada evento de cheia (Persoons *et al*, 2002; Turner, 1998; Beg e Shakil, 1998).

Persoons *et al* (2002) salientam a importância das seguintes medidas para essas áreas: (1) participação de arquitetos, população e autoridades locais na elaboração de projetos para essas áreas; (2) medidas para a redução da poluição e riscos materiais; (3) estudos de possibilidade de desapropriação nos casos em que a remoção de habitações tenha significado efetivamente positivo; (4) proibição do loteamento dessas áreas e (5) ser extremamente cauteloso com os empreendimentos nessas áreas.

Turner (1998), ao recomendar a incorporação da gestão das cheias no planejamento do uso e ocupação do solo, também propõe que cada cidade deve demarcar os contornos para os eventos de chuvas, considerando usos e medidas específicos respectivos aos períodos de retorno dos eventos, como mostrados na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Zoneamento de áreas sujeitas a enchentes proposto por Turner (1995).

Período de retorno	Uso do solo
6 meses	reservas naturais, campos esportivos e parques.
1 ano	Poucos estacionamentos, vias de tráfego, construções resistentes a cheias.
25 anos	Vias, estacionamentos e serviços não essenciais.
100 anos	Consideráveis áreas urbanas, exceto hospitais ou outros serviços especiais.

Barth (1997) expõe quatro mecanismos que podem ser adotados para a manutenção das áreas sujeitas a inundação, após serem delineadas: (1) Compra da área pelo poder público, solução de alto custo e que se não for dado um uso adequado, certamente é invadida pela população carente; (2) Requerer ou encorajar os empreendedores a

destinarem parcelas maiores das áreas sujeitas a enchentes para o lazer e para área comunitária do loteamento; (3) Restrição do uso, não permitindo a ocupação de forma incompatível com as características da área, além de incentivos fiscais; (4) Regulamentação da ocupação através da lei de zoneamento.

Complementando esses mecanismos, Nascimento e Orth (1998) recomendam a modificação no plano diretor do município, incluindo as restrições impostas pelo zoneamento das áreas de risco de inundação.

Tucci (2003) considera que o custo da proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais. Em 1972, na cidade de Denver (Estados Unidos), exemplifica o autor, o custo de proteção por medidas estruturais de um quarto da área era equivalente ao de medidas não-estruturais para proteger os restantes três quartos da área inundável.

Outros benefícios potenciais da não utilização das áreas inundáveis incluem a manutenção dos valores estéticos, através da conservação de áreas livres contíguas às torrentes, a proteção dos ecossistemas e a melhoria da qualidade da água das correntes. (VALESH, 1989 apud BARTH, 1997).

Como declara Searns (1995), o ideal seria que todo o solo localizado nas áreas inundáveis com chuvas de 100 anos de retorno fossem mantidas livres, permitindo que o rio serpenteasse naturalmente, mantendo a fauna, a flora e atividades recreativas – usos que toleram enchentes periódicas. No entanto, para serem mantidas o mais natural possível, as áreas de fundo de vale deveriam ser planejadas, desenhadas e geridas, o que resultaria na não intervenção e ocupação humana.

É necessário ressaltar que a gestão bem-sucedida da água na cidade exigirá além de projetos abrangentes, muitas ações individuais e a percepção de que a drenagem das águas pluviais, o controle das enchentes, o abastecimento de água, a conservação, a disposição de resíduos e o tratamento de esgoto são facetas de um sistema muito maior (SPIRN, 1995).

O poder público pode instituir a aplicação de medidas não-estruturais através da elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) condicionado pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, mas, a eficácia da aplicação de medidas preventivas de enchentes depende principalmente da mudança de postura da

população para uma participação ativa, com relação ao uso dos solo, direcionada ao controle, à manutenção e fiscalização, para que as leis e regulamentos possam cumprir os seus objetivos.

4.3 Planos Diretores de Drenagem Urbana

Essencial para atender à problemática ambiental das bacias hidrográficas e a busca de soluções que compatibilizem os objetivos locais, segundo as diretrizes de uma proposta regional, é a elaboração de planos diretores de drenagem urbana (PDDrU). Resultado do planejamento integrado das intervenções locais e regionais e do consenso entre os diferentes níveis do Poder Público e da sociedade organizada, um plano diretor de drenagem urbana deve evitar medidas locais de caráter restritivo – que “empurram” o problema para jusante”- através de um estudo que tome como unidade a bacia hidrográfica como um todo.

Este estudo deve compor-se de estudos hidrológicos e da expansão urbana, de mapeamento das áreas sujeitas a inundação e estabelecimento do zoneamento do uso do solo, que passaria a ser o guia dos sucessivos administradores públicos. Assim, como aponta Pompêo (2002), esse diagnóstico possibilita a identificação das áreas a serem preservadas e a seleção das que possam ser adquiridas pelo poder público antes que sejam ocupadas, loteadas ou que seus preços se elevem e tornem a aquisição proibitiva.

Um Plano Diretor deve contar com a participação de equipes multidisciplinares, permitir o apoio da sociedade, e pode ser dotado de força de lei, o que lhe confere peso político. Deve também ser associado aos diversos outros sub-sistemas que compõem o sistema urbano, tendo em vista a qualidade do meio urbano como um todo. A ocupação das várzeas de inundação, mesmo mediante medidas compensatórias, deve ser evitada, em detrimento à preservação do ecossistema e à criação de áreas de lazer que funcionam como “respiros” na área urbana.

Deve-se levar em conta que a qualidade e a quantidade da água são variáveis indissociáveis e que devem sempre ser consideradas em conjunto. As conseqüências das inundações em áreas onde a água está deteriorada são muito mais graves, pois estes locais podem se transformar em fontes propagadoras de doenças. Nessas

condições, é inviável a construção de reservatórios de amortecimento, ao passo que, onde se observa a boa qualidade das águas pluviais, esta medida pode proporcionar recursos utilizáveis para a recarga de aquíferos, irrigação, abastecimento industrial, combate a incêndios, recreação, etc.

Estas observações são princípios essenciais à elaboração do plano diretor, e constituem a base fundamental sobre a qual devem ser orientadas todas as fases do processo.

Para a preservação/recuperação dos fundos de vale, Fendrich e Malucelli (2002) apontam, dentre outras, as seguintes ações:

- Elaboração de zoneamento das áreas sujeitas a inundações (delimitadas com base em estudos hidrológicos especializados) definindo, para as áreas não ocupadas, usos compatíveis como lazer e recreação, inseridas em parques lineares (figura 4.1), que além de garantir manutenção da flora e da fauna, esse tipo de ocupação faz com que o poder público tome posse de fato dessas áreas, evitando-se a ocupação com fins de moradia.



Figura 4.1: Parque linear no Rio Muddy (Chicago-EUA). Fonte: Smith e Hellmund (1993).

- Revegetação com matas ciliares ao longo dos canais de macrodrenagem das águas pluviais, a fim de evitar processos erosivos;
- Educação ambiental, em todos os níveis, com relação às questões da macrodrenagem urbana;

- Implantação das redes de coleta de esgotos sanitários e de efluentes industriais, para evitar a deterioração da qualidade das águas pluviais;
- Melhoria dos serviços de limpeza pública, evitando o lançamento dos resíduos sólidos urbanos e conseqüentes entupimentos na microdrenagem ou deterioração da qualidade das águas.
- Nos casos críticos de enchentes urbanas, em áreas já ocupadas, efetuar desapropriações das áreas e implantar parques municipais com lagoas para contenção de cheias e mecanismos de dissipação de energia das águas; ou, caso se opte pela permanência das moradias, estabelecer um processo de desadensamento habitacional e a execução de melhorias urbanas que garantam condições adequadas de qualidade de vida;
- Fiscalização e controle ambiental das atividades nas áreas de cabeceiras dos vales receptores de drenagem, possíveis mananciais de abastecimento público;

* * * * *

Dentre os diversos fatores decisórios que influenciam de maneira determinante a eficiência com que os problemas relacionados à drenagem urbana podem ser resolvidos, destacam-se a existência de meios legais e institucionais para que se possa elaborar uma política factível de drenagem urbana.

A ação institucional deve integrar a gestão das águas urbanas ao planejamento urbano. Para tanto, é necessário Planos Diretores baseados em um zoneamento ambiental, que considere toda a bacia hidrográfica, associados a instrumentos previstos nas políticas de Meio Ambiente e Recursos Hídricos como guias indispensáveis a quaisquer ações, também no meio urbano. Por outro lado, embora exista a previsão e a regulamentação de alguns destes instrumentos em teoria, ocorre um grande descompasso na aplicação dos mesmos na prática, justificados pela insuficiência de recursos humanos, financeiros e meios técnicos. Carecem, sobretudo, de um diálogo entre as diversas instâncias - município, estado, União - para que possam ser aproximadas da realidade.

4.4 Exemplos de implantação de medidas não - estruturais em bacias urbanas

Brasil

Uma das poucas experiências brasileiras no uso de medidas não-estruturais na prevenção de enchentes é da cidade de Estrela, Rio Grande do Sul, citada por Tucci (2001), que implementou, dentro do Plano Diretor, o zoneamento de áreas inundáveis, através da delimitação de zonas de uso especial, definidas pela restrição de ocupação e de construções abaixo de determinadas cotas.

Porto União, no Paraná, é outra cidade que desenvolveu critérios para o zoneamento de áreas de inundação, introduzindo artigos referentes a esse instrumento no Plano Diretor urbano. As cidades de Porto União e União da Vitória, no Paraná, enfrentaram problemas críticos de drenagem urbana nos últimos anos, conforme revelam estudos realizados por Tucci e Villanueva (1999), que propõem um zoneamento das áreas sujeitas à inundação com o estabelecimento de três zonas de controle (considerando períodos de retorno de chuva de 5, 10, 50 e 100 anos): (1) *preservação das áreas mais críticas*, reservada para proteção ambiental e parques; (2) *área de proteção dos recursos hídricos*, com incentivos fiscais para usos recomendados como parques, campos esportivos e agricultura; e (3) *área de baixa densidade*, menos restritiva que as zonas anteriores, porém com necessidade de proteção nas construções contra risco de eventuais enchentes (TUCCI e VILLANUEVA, 1999).

Outro exemplo brasileiro é o município de Curitiba, onde há uma evidente preocupação com a implantação de parques urbanos voltados à prevenção de enchentes, dentre outros objetivos. O Parque Barigui, que fica dentro da cidade (figura 4.2), possui uma área de 1,4 milhão de metros quadrados e teve como importante critério para a sua delimitação, de acordo com Geisler (2004)²⁹, a drenagem urbana e a prevenção de enchentes a jusante, sendo consideradas também as características naturais de topografia e geologia locais. Nesse estudo, observou-se que as áreas verdes foram localizadas utilizando principalmente o critério sanitário (drenagem e enchentes), topográfico e geológico (talwegues e encostas de declividade acentuada).

²⁹ GEISLER, H. J. "Análise de critérios para localização de áreas verdes urbanas de Curitiba. Estudo de caso: Bosque do Papa e Parque Barigui" (resumo de tese). Disponível em: <http://www.ppgec.ufsc.br/d2004.html>.



Figura 4.2: Parque Barigui, Curitiba-PR.

Fonte: <http://www.parques-curitiba.com/barigui-curitiba-parana.htm>

É importante ressaltar que para promover a preservação de áreas verdes, o município de Curitiba vem instituindo leis e incentivos fiscais, como redução ou isenção de impostos urbanos.

Em São Carlos, SP, foi realizado o projeto de recuperação ambiental das várzeas do Alto Tijuco Preto, uma das principais sub-bacias do município, que vem sofrendo intenso processo de degradação ambiental, com poluição e assoreamento nas nascentes e corpos d'água, supressão da vegetação nativa, ocupação irregular e risco de inundações. Parcerias entre Universidade, Ongs e Poder Público foram realizadas para reversão desse quadro e inserção do conceito de sustentabilidade sócio-ambiental no projeto de recuperação ambiental da bacia. Ao propor a integração da progressiva recuperação ambiental com a possibilidade de oferecer à cidade um parque linear, o projeto inicia um processo de compreensão e preservação de áreas de proteção associadas ao direito à paisagem (figura 4.3).



Figura 4.3: Projeto de recuperação ambiental das várzeas do Alto Tijuco Preto, São Carlos, SP
Fonte: FIPAI/PMSC (2003)

América do Norte e Europa

As últimas décadas presenciaram uma profusão de abordagens inovadoras e significativas de controle de enchentes nas cidades norte-americanas. Em face de mudanças que ocorreram nas últimas décadas, como o movimento ambiental que emerge durante os anos 70, combinado com as perdas da biodiversidade e os impactos dos desastres naturais provocados pelas grandes enchentes nessa região, os espaços verdes urbanos tem se expandido muito nesses países, por ajudar a mitigar a perda dos espaços naturais inerentes ao desenvolvimento, constituindo uma contra partida à dominação humana da paisagem. Esses espaços são vistos atualmente com múltiplos objetivos³⁰, principalmente de promover a redução da erosão e do risco de enchentes urbanas, por constituírem um sistema natural de drenagem (SEARNS, 1995).

O "sistema de drenagem natural" tem sido implementado com sucesso em cidades norte-americanas, entre elas, Woodlands, no Texas e Bellevue, em Washington. (GIRLING e KELLETT), com a idéia de usar os córregos e valas naturais para a gestão urbana de drenagem pluvial (TURNER, 1998). Nesse sentido, Spirn (1995) expõe exemplos de cidades norte-americanas que se tornaram modelo de soluções bem-sucedidas de problemas urbanos relacionados à drenagem, à conservação e recuperação da água e à prevenção de enchentes.

No projeto ecológico da cidade de Woodlands, Texas, 35 milhas ao norte de Houston, que ocupa uma área de mais de 8.300 hectares, planejada por volta de 1970 (TURNER, 1998), pela firma *Wallace McHarg Roberts & Tood* de arquitetos paisagistas e planejadores ecológicos, a água surgiu como fator crítico, levando essa equipe de projeto, nas primeiras etapas do planejamento, a elaborar um "sistema de drenagem natural" (SPIRN, 1995).

De acordo com WMRT (1974, apud GIRLING E KELLETT), esse sistema de drenagem consistiu de uma identificação das características do meio para determinar os locais mais apropriados ao desenvolvimento de acordo com a drenagem natural. A ocupação é permitida em solos impermeáveis, com baixa diversidade ecológica e os solos mais

³⁰ Ver discussão a respeito dos múltiplos objetivos do planejamento de áreas verdes no capítulo 2, item 2.1.5.

permeáveis, com mais densa e diversificada vegetação são protegidos para a absorção de água e recarga de aquífero (Turner, 1998).

Esse sistema, segundo Spirn (1995), explora a capacidade das várzeas florestadas naturais de acomodarem as águas pluviais e dos solos de boa drenagem de absorverem e armazenarem a água, visando impedir enchentes associadas a urbanização, manter a qualidade da água e a recarga de aquíferos nos arredores, dos quais a cidade de Houston retiram suas águas (Figura 4.4).

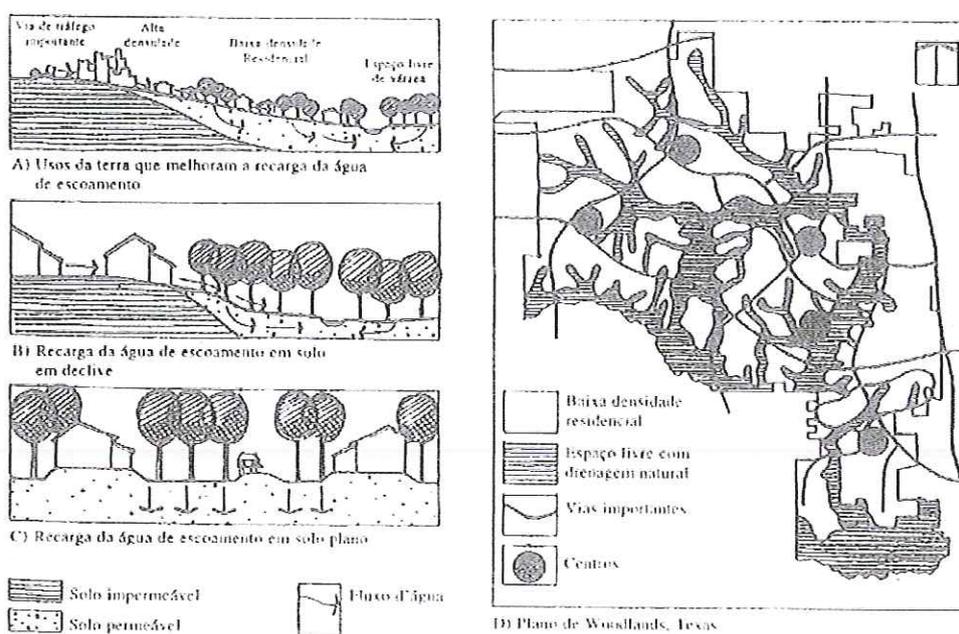


Figura 4.4: "Sistema de drenagem natural" de Woodlands. Fonte: Spirn (1995).

Dessa forma, o sistema de espaços livres da cidade, composto pelas várzeas florestadas, os canais de drenagem e os solos de recarga, constituem um sistema de "drenagem natural", que a um custo significativamente menor que o da drenagem convencional, traz benefícios ambientais para além dos limites da cidade. Além do sistema de espaços livres estabelecido pelo sistema hidrológico, compõem o sistema de drenagem, de acordo com Turner (1998), lagoas de detenção e retenção em parques, rua e campos (a Figura 4.5 mostra áreas de infiltração adjacentes às represas e a hierarquia dos fluxos de drenagem).

Ao final do projeto, o aumento das cheias na cidade foi estimado em apenas 55%, comparando-se com os 180% na média de outras cidades (SPIRN, 1995).

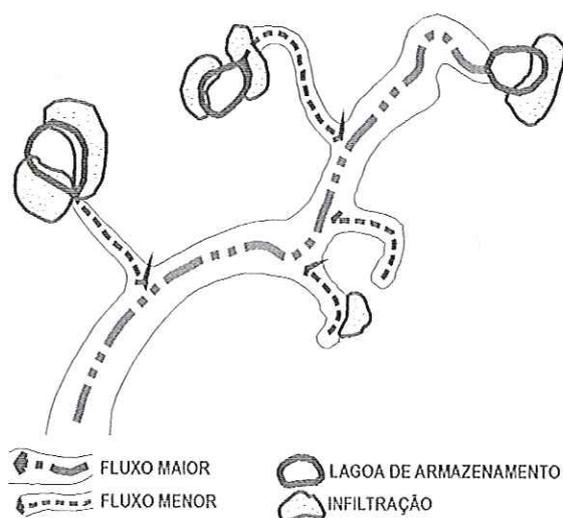


Figura 4.5: Diagrama das superfícies de drenagem em Woodlands. Fonte: Adaptado de Girling e Kellett.

Woodlands, pelos benefícios ambientais e econômicos, continua a ser um modelo de projeto de sistema de drenagem integral e uma demonstração de que, se o sistema superficial de drenagem é planejado nos primeiros estágios do desenvolvimento, o desenho urbano das áreas livres pode servir aos objetivos da hidrologia natural.

De acordo com Turner (1998), essa tem sido também uma prática normal nas novas cidades britânicas, ao estabelecer um sistema de parques interconectados, composto pelas áreas verdes nos fundos de vale.

Outro exemplo norte-americano é na bacia do Rio Charles, a mais densamente ocupada na Nova Inglaterra, principalmente no trecho inferior, onde ficam as cidades de Boston e Cambridge. O estudo de 1965, para o controle de enchentes nessa região, revelou que o uso de medidas estruturais, como barragens a montante para prevenir enchentes futuras a jusante, teria um custo muito elevado, o que levou à adoção da abordagem preventiva na formulação de um plano diretor de drenagem para essa bacia. Nesse plano é proposta a aquisição federal e a proteção permanente de dezoito importantes áreas de reservatório natural em vales (figura 4.6), totalizando 3500 ha, de extensas várzeas para moderar as variações extremas do Rio Charles. Essa proposta foi considerada pelo estudo como o método mais efetivo para preservar a capacidade de armazenamento das águas, além de significar um custo muito menor, sendo aprovada em 1974 e financiada pelo Congresso norte-americano (SPIRN, 1995).



Figura 4.6: Áreas de armazenamento natural nos vales da Bacia do Rio Charles. Fonte: Spirn (1995).

Denver, no Colorado, é outro exemplo significativo de uma cidade norte-americana que implementou um conjunto de estratégias abrangentes e coordenadas para a administração de suas águas, após enormes perdas resultantes de enchentes devastadoras. O Distrito de Drenagem Urbana e de Controle de Enchentes foi criado para assegurar a adoção e a implementação de normas de uso adequado das várzeas e a realização de Planos Diretores de microbacias. Através dessa medida, a cidade recuperou rios, implementou um sistema de medição da qualidade da água e um sistema integrado de caminhos verdes (*greenways*), que acomoda água das cheias e atividades recreativas, esportivas e de lazer. Dentre esses, o mais importante foi a implementação do Caminho Verde do Rio Platte, com 182 ha, que liga dezoito parques urbanos e se concretizou pelos esforços coordenados de organizações públicas, privadas e de cidadãos comuns.

Em 1969, foi publicado o "Manual de Drenagem das Águas Pluviais Urbanas", para orientar e assegurar o controle da drenagem em toda a região metropolitana de Denver, incluindo medidas de armazenamento na fonte, como coberturas vegetadas, praças e estacionamentos com dispositivos de detenção (SPIRN, 1995).

Nesses mesmos princípios estão projetos como o sistema de parques de Boston, que foi criado para servir a múltiplas funções, como controle de enchentes, melhoria da qualidade da água e recreação. Comumente chamado de "*Emerald Necklace*", o sistema de parques de Boston tem cerca de 25 km de extensão e foi o primeiro projeto de sistemas de parques planejado e projetado por Frederick Law Olmsted, em 1867.

(FÁBOS, 2004). Esse sistema consiste de uma série de extensos espaços livres ou áreas verdes conectados entre si por alamedas ou parques lineares (Figura 4.7) (Platt, 1994), ligando entre si áreas de Boston, Brookline e Cambridge, em Massachusetts e conectando essas áreas ao Rio Charles (FÁBOS, 2004).

Charles Eliot, arquiteto paisagista e discípulo de Olmsted, expandiu esse sistema de parques para aproximadamente 600 km² abrangendo toda a região metropolitana de Boston, conectando cinco grandes parques nos arredores da metrópole (FÁBOS *et al.*, 1968 apud FÁBOS, 2004). Uma inovação nesse projeto foi a inclusão de rios costeiros como corredores ecológicos, conectando-se aos parques.



Figura 4.7: Sistema de Parques de Boston proposto por F. L. Olmsted.
Fonte: (FÁBOS, 2004).

Houve, em Boston, além dessas intervenções, como aponta Spirn (1995), uma preocupação com o controle de enchentes no Rio Charles, que estabeleceu a não ocupação das várzeas inundáveis, conforme pode ser visto na figura 4.8, onde a preservação das áreas de armazenameto natural fornecem espaço para o transbordamento do rio e absorvem a água das cheias.

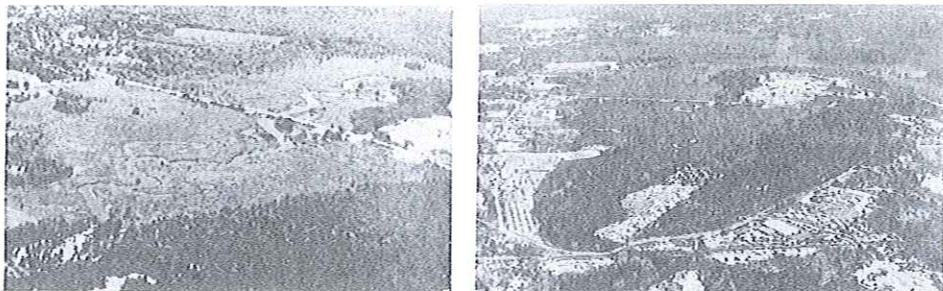


Figura 4.8: Rio Charles, Centro de Boston, o mesmo trecho, antes e após a cheia. Fonte: Spirn (1995).

Outro importante exemplo norte-americano ocorre na região Green Spring – Worthington Valleys, externa a cidade de Baltimore, Maryland, que ocupa uma área de 182,12 km². Nessa região de expressiva beleza natural e vulnerabilidade, como afirma Turner (1998), foi realizado um dos mais relevantes casos de estudo sobre áreas verdes pela firma *Wallace-McHarg Associates*: o “*Plan for the Valleys*”³¹ (figura 4.9). Iniciado em 1962, o plano para essa área (vizinha a uma região metropolitana que passava por demandas de crescimento) surge a partir da expectativa de rápido desenvolvimento populacional, de 17.000 em 1962 para 110.000 a 150.000 habitantes em 1992, e consistia em aplicar princípios ecológicos no planejamento da sua ocupação, que pudessem inverter a espoliação, assegurar qualidade ambiental, manutenção da diversidade da paisagem e evitar o crescimento incontrolado (MCHARG, 1992).

O desenvolvimento desse plano necessitou de simulações de cenários futuros, para demonstrar as conseqüências físicas e financeiras da expansão urbana sem planejamento ecológico. O estudo dos aspectos ambientais locais como topografia, geologia, recursos hídricos superficiais, águas subterrâneas, áreas inundáveis, reservas florestais, recarga de aquífero e solos, revelou as suas potencialidades e restrições para o desenvolvimento: a urbanização deveria se limitar às áreas de maior altitude (*plateaus*) e os fundos de vales deveriam ser preservados e proibidos à ocupação antrópica, onde cerca de metade da área deveria ser parte de um sistema de espaços verdes conectados, constituindo um corredor ambiental.

A figura 4.9 ilustra o zoneamento dos vales, mostrando os platôs, onde em parte a ocupação é concentrada e na outra, mais próxima do vale, é mantida a arborização e a densidade de ocupação é baixíssima; já nas encostas dos vales e nos topos de morro, onde é proibida a ocupação, é mantida ou reconstituída a cobertura vegetal.

Em termos de valor financeiro, a avaliação da simulação dessa proposta ainda revelou uma valorização extra da área, em relação à do cenário de desenvolvimento desordenado, conseguindo absorver todo o crescimento previsto só com a ocupação das áreas ambientalmente apropriadas (MCHARG, 1992).

A proposta concluiu, como aponta o autor (op. cit.), que a observância dos princípios da conservação no planejamento pode inverter o processo de destruição das

³¹ Ver detalhes desse plano no livro *Design with Nature*, de Ian McHarg (MCHARG, 1992).

paisagens, assegurar qualidade ambiental e de vida, ser mais desejável e mais lucrativo do que o crescimento desordenado e que entidades públicas e privadas ligadas constituem uma parceria essencial no processo de realização do plano.

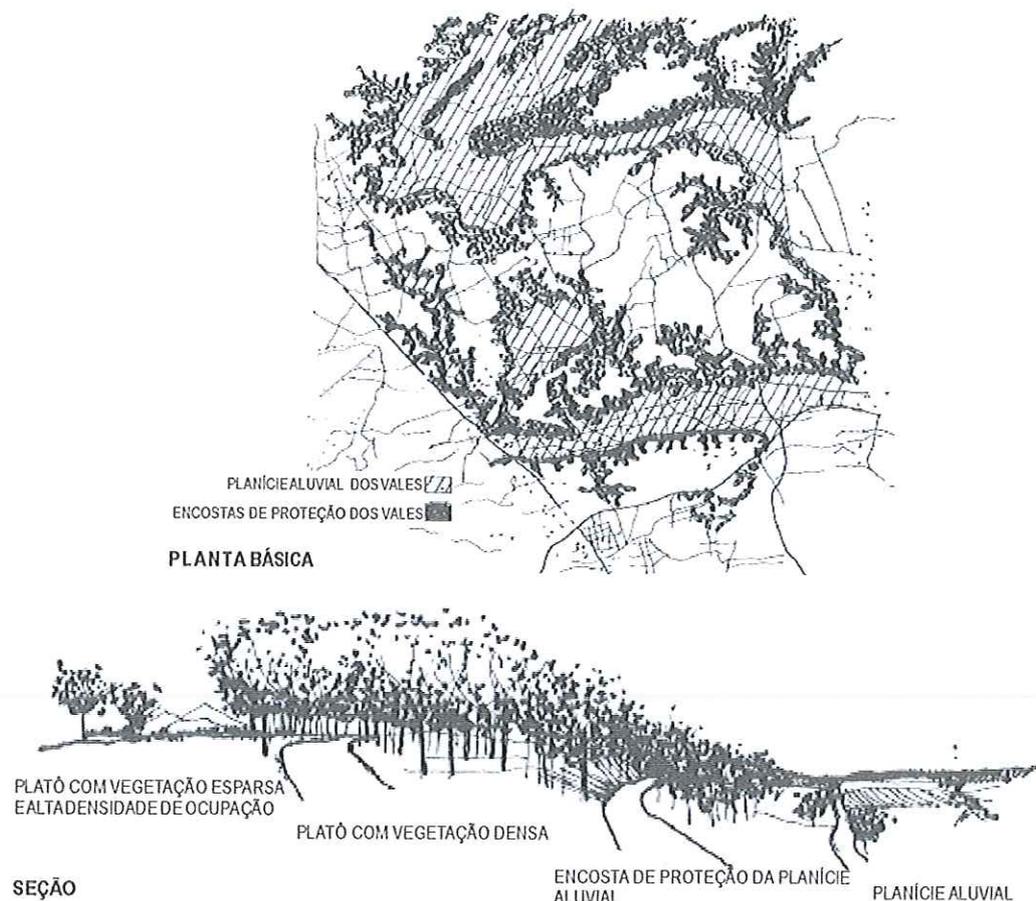


Figura 4.9: Plano para a região dos Vales (Green Spring – Worthington Valleys, Maryland – EUA) proposto por Ian McHarg (1969). Fonte: Adaptado de McHarg (1992).

Com esse mesmo propósito, Cergy-Pontoise, na França, foi planejada entre 1966 e 1969, e construída nas regiões acima dos vales, circundando o último meandro do Rio Oise, antes da confluência com o Rio Sena. O vale foi preservado como um grande parque hídrico e centro de lazer, que pode ser contemplado da maioria dos pontos da cidade. Esta política é similar no plano Diretor de outras cidades francesas (TURNER, 1998).

Outro exemplo de planejamento de drenagem com muitos propósitos também ocorre no projeto de melhoria do Vale Reuss, na Suíça, no período de 1969-79. De acordo com Turner (1998), o uso de medidas estruturais e pontuais, como construção de represa, era a forma comum de lidar com o antigo problema de enchentes enfrentado pela região que, em 1953, passou por um conflito de interesses entre agricultura, proteção contra enchentes e conservação da natureza. Após acordo com diversos segmentos da sociedade

e participação de diferentes profissionais, foram produzidos planos voltados à agricultura, ao reflorestamento e à conservação da natureza. A abordagem desse planejamento, conclui o autor (op cit.), requer a preparação de planos de paisagem que considerem e enfatizem as características de cada trecho do rio.

É importante destacar também a proposta do Plano Diretor do município de Bergen, na Noruega, lançado em 1997, como aponta Thorolfsson (1999), sendo baseado nos resultados de um programa de pesquisa realizada na Bacia *Birkeland*, de 460 ha, e sua sub-bacia *Sandsli*, desde 1981. A solução encontrada para a gestão das águas superficiais exigiu o uso de medidas de controle na fonte combinadas com a tendência ecológica da gestão de águas pluviais urbanas, de forma a utilizar a capacidade da natureza urbana para conter a água pluvial e reduzir a sua poluição. Nesse processo de planejamento, córregos, rios e lagos foram mantidos de forma mais natural possível, através de técnicas como lagoas de retenção e detenção (figura 4.10), para conter a água da chuva e melhorar sua qualidade através da sedimentação, manutenção dos corredores de rios, áreas inundáveis (*wetlands*), superfícies de infiltração e trincheiras para percolação subterrânea. Nesse caso, houve uma associação de medidas estruturais e não estruturais.

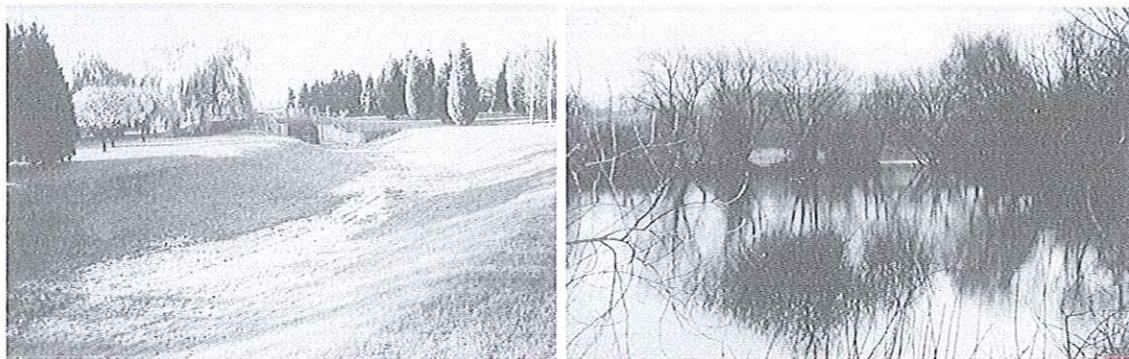


Figura 4.10: Bacias de detenção e retenção em duas áreas do Rio Cray, sudoeste de Londres.
Fonte: Turner (1998)

O investimento de recursos financeiros na aquisição de terra nas áreas inundáveis, ao invés de serem gastos em ações estruturais, é uma medida de controle, considera Searns (1995), utilizada na cidade de Littleton, Colorado – EUA. Em 1960, a população se mobilizou para que os recursos que seriam gastos na retificação do Rio Prata do Sul fossem investidos na aquisição e preservação de terras em zonas ripárias e com risco de enchentes, transformando-as em parque. Graças a essa consideração de alternativas não-estruturais ao avaliar projetos de controle de enchentes e modificações nos rios, cerca de 2,5 km² de área preservada permanece junto ao rio em estado natural (PAYNE, 1989 apud SEARNS, 1995).

Searns (1995) destaca a importância de tal medida associada à participação cooperativa de todos os setores da sociedade, como as organizações sem fins lucrativos (ONGs), nas atividades de conservação das áreas verdes. Grandes organizações internacionais como a *Nature Conservance*, juntamente com proprietários de terra e municipalidades locais, tem reservado milhões de acres de áreas sensíveis em pequenas e grandes comunidades nos Estados Unidos. As autoridades estão começando a ver os benefícios econômicos de longo prazo ao preservar alguns sistemas naturais como parte da infra-estrutura urbana, afirma o autor (op. cit.), reduzindo assim os custos da recuperação de sistemas estruturais de controle de enchentes.

* * * * *

As experiências aqui apresentadas se inserem no paradigma de planejamento ecológico da paisagem, confirmando a necessidade de planejamento prévio de projetos para o controle de enchentes, notadamente os sistemas de áreas verdes na cidade, por este ser também um meio de restaurar ecossistemas naturais e melhorar a qualidade ambiental e de vida. Apontam também a necessidade de participação da sociedade na tomada de decisão sobre projetos que, baseados no conhecimento do meio, para além da prevenção de enchentes, consistem em tentativas de resolver diversos aspectos dos problemas urbanos, acarretando também benefícios econômicos e sociais.

Se as intervenções ilustradas acima, forjadas por diversas cidades nas últimas décadas no enfrentamento dos problemas ambientais urbanos, estivessem se difundido e tornado parte do planejamento da maioria das cidades, deixando de ser apenas casos esporádicos ou pontuais, certamente as cidades atuais teriam menor risco de enchentes e melhor nível de qualidade ambiental e de vida.

Devido ao enorme passivo ambiental atingido pelas bacias urbanas, ordenar a ocupação do território não se torna impossível, porém difícil e desafiador, na medida em que o equilíbrio ambiental exige uma nova postura na forma de agir e pensar a cidade e sua relação com a natureza: a ocupação urbana deve ser direcionada pelas características do meio e não o contrário, para que o desenho urbano seja compatível com a "natureza" do local, considerando os limites impostos por ela.

PARTE II

ESTUDO DE CASO



CAPÍTULO 5– METODOLOGIA

As atividades realizadas nesse estudo de caso, assim como os modos de execução, são descritos a seguir:

- Levantamento de dados relacionadas ao objeto de estudo da pesquisa – Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos, SP, o que permitiu o conhecimento do meio físico da região, através de fotos aéreas, de 1962, 1970 e 1998, mapas de geologia, topografia, declividade, hidrologia, pedologia, vegetação; do meio antrópico, através de mapas de uso do solo, evolução demográfica e aspectos socioeconômicos e visita a campo. Nesse sentido, é importante salientar que tais informações foram em grande parte advindas dos levantamentos realizados pela Prefeitura Municipal de São Carlos, no processo de elaboração do Plano Diretor.
- Caracterização da área de estudo, compreensão de sua dinâmica através da espacialização e correlação dos dados disponíveis.
- Elaboração de mapa de uso do solo atual da bacia a partir de interpretação visual de aero fotos de 1998, fotos panorâmicas de 2004 e dados do levantamento do Plano Diretor.
- Identificação das áreas com restrições ambientais e legais à ocupação, através de leitura e interpretação dos dados físicos, para a espacialização das APPs, da vegetação existente e dos dados de mapeamento geotécnico.
- Formulação de diferentes cenários de uso e ocupação do solo na bacia, considerando a aplicação ou não de medidas não-estruturais de drenagem. Para a elaboração de cenários, foi feita, primeiramente a divisão da *extensão espacial* da bacia em 18 bacias embutidas (MENDIONDO e TUCCI apud MENDIONDO et al., 2004), denominadas de Unidades de Planejamento (UP's).

- Comparação entre os cenários, a partir da observação dos respectivos hidrogramas de vazão resultantes das simulações no modelo hidrológico *IPHS 1*³², realizadas por Boldrin (2005), com a finalidade de avaliar o papel das medidas não - estruturais de prevenção de enchentes;
- Elaboração de um conjunto de propostas para a ocupação do solo, a partir da análise dos cenários, estabelecendo diretrizes e recomendações para a expansão urbana, visando a bacia urbana sustentável.

³² No Brasil, pesquisas relacionadas às mudanças fluviais provocadas pela urbanização, têm se preocupado em ampliar os conhecimentos, em especial no que se refere à relação chuva-vazão, tendo como objetivo o controle de enchentes (Tucci, 1994; Queiroz, 1996, Mendiondo *et al.*, 2004; Ohnuma, 2005).

CAPÍTULO 6 – O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE SÃO CARLOS

O processo de estruturação urbana do município está vinculado à atividade cafeeira que se inicia em meados do século XIX, com a formação do primeiro núcleo urbano no município, em 1856. Falcoski (1988) destaca o fato de que a cidade de São Carlos se inicia a partir de terras doadas por proprietários cafeicultores, em área próxima ao Córrego do Gregório, dando início ao processo de expansão da malha urbana.

A expansão do núcleo urbano ocorreu de forma linear, tendo como eixo norteador e estruturador a direção norte-sul, a partir de um traçado reticular-ortogonal, representado pela malha xadrez, adotado indiscriminadamente, ignorando as características geomorfológicas do sítio.

Numa segunda fase de desenvolvimento, entre 1920 e 1940, quando ocorre a transição entre a crise da produção cafeeira e a inserção da indústria, a cidade assiste a um movimento migratório do campo para a cidade, fazendo crescer a ocupação dos setores sul e norte, onde foram instaladas as primeiras indústrias, às margens das rodovias (FALCOSKI, 1988).

Até 1940, segundo Devescovi (1987, apud FALCOSKI, 1988) a expansão urbana foi marcada pela ausência de participação do setor público local na articulação de políticas públicas ou diretrizes de ocupação do solo urbano. Suas ações restringem-se aos setores rentáveis da produção e consumo.

A partir da década de 40, ocorre uma segunda fase de urbanização, com o surgimento de mecanismos reguladores do processo de redirecionamento da ocupação, o parcelamento da terra, com a ação mais incisiva dos proprietários imobiliários articulados às ações do Poder Público, criando-se as condições gerais para o processo de periferização da expansão urbana e segregação sócio-espacial mais demarcada, com uma organização funcional diferenciada e desigual dos meios e modalidades de consumo, bem como sua produção e apropriação (FALCOSKI, 1988).

Entre 1950 e 1970, com a entrada do capital estrangeiro no país e políticas de incentivo a indústria e desenvolvimento urbano, de acordo com Devescovi (op. cit.), intensificou-se a ocupação clandestina em alguns setores da cidade, próximos às rodovias, em virtude da instalação de indústrias nessas áreas.

Surgem, nesse período, os loteamentos, o retalhamento de terras rurais e suburbanas, com a existência de grandes vazios urbanos em descontinuidade com a malha pré-existente, caracterizando uma ruptura na lógica de ocupação da cidade, com a passagem da malha urbana de regular a descontínua e o início do processo de ocupação periférica, sem infra-estrutura ou com infra-estrutura precária.

Como se observa em muitos dos municípios brasileiros, a expansão periférica de loteamentos na cidade, a partir da década de 70, ocorreu sem que houvesse para tal crescimento a suposta demanda, de forma que a sua ocupação era muito baixa e era clara a existência de enormes vazios urbanos na cidade. O fato é que a não ocupação efetiva dessas áreas se deve também à permissividade da legislação da época na aprovação de tais loteamentos sem que fosse provida a infra-estrutura básica de água, energia, pavimentação e esgotos. Falcoski (1988) observa que o parcelamento da terra em zona suburbana não dependia, até recentemente, da aprovação do órgão público responsável, facilitando a expansão periférica descontínua³³.

Só a partir da década de 70, salienta Falcoski (1988), é que a Prefeitura Municipal, teve uma ação mais rigorosa, quando ocorre a elaboração do segundo plano diretor³⁴, no sentido de regularizar loteamentos clandestinos, dotando-os de melhoramentos urbanos e infra-estrutura básica.

O primeiro zoneamento do uso do solo urbano do município, estanque e pouco diversificado, é elaborado no final da década de 70 e se caracteriza como insuficiente e inadequado, segundo o autor (op. cit.), por dividir a cidade aleatoriamente em três áreas de expansão, fato que vem agravar a segregação sócio-espacial e a oposição centro-periferia. Nesse sentido, de acordo com levantamento realizado pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC, 2004a), é a partir dos anos 80 que se consolidam as áreas de periferia, numa dinâmica de uso e ocupação do solo residencial que tem constituído bolsões de riqueza e pobreza na cidade.

³³ O quadro da periferia urbana de São Carlos, na década de 60, apontava um índice de 45% de loteamentos irregulares no interior da cidade (FALCOSKI, 1988).

Em 30 anos, de 1970 até 2000, dobraram a população e a área de ocupação do território³⁵. De acordo com o IBGE 2003, o município possui atualmente uma população de cerca de 203.000 habitantes e densidade demográfica de 170 hab/km², com 95% da população morando em zona urbana (superior à média latino-americana) ocupando uma área de 67, 25 Km², que equivale a 6% da área total do município(PMSC, 2004a).

O aumento expressivo da área de ocupação da cidade resulta em baixo índice de densidade demográfica: são 550 ha em lotes vazios, situados em áreas com infraestrutura, o que representa 20% do total da área urbana desocupada (PMSC, 2004a), (figura 6.1) ao passo que a população de baixa renda, devido à alta valorização imobiliária do centro, passa a morar nas periferias ou em áreas ambientalmente impróprias.

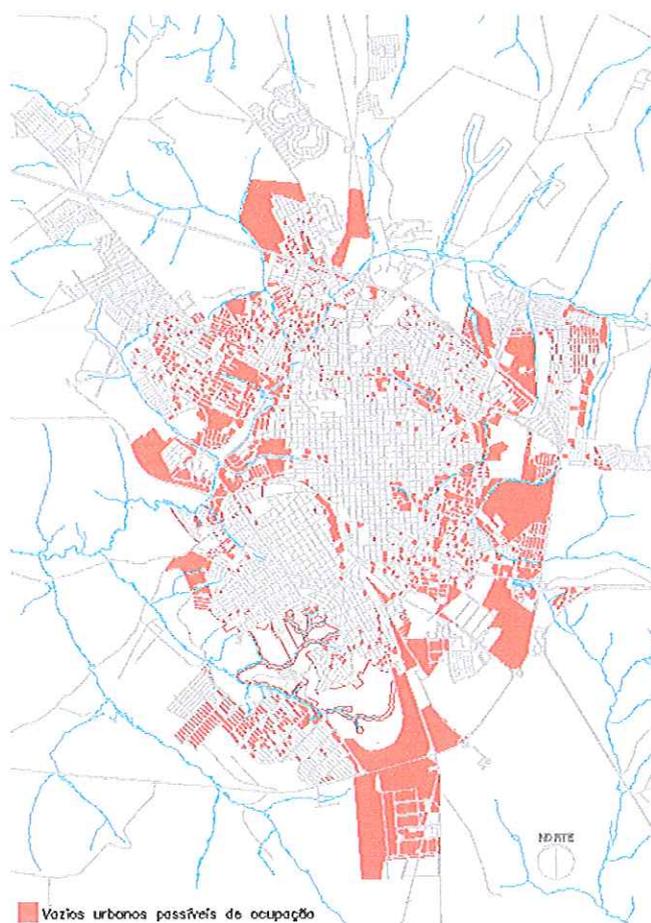


Figura 6.1: Vazios urbanos passíveis de ocupação na cidade de São Carlos-SP
Fonte: PMSC (2004a)

³⁴ Segundo Villaça (1999), a partir da década de 60, quando o Planejamento Urbano no Brasil passa a centrar-se na figura do Plano Diretor, chegaram a ser produzidos no país dezenas desses planos, sendo que, em sua esmagadora maioria, não atingiram os objetivos a que se propuseram.

³⁵ A partir dos anos 80, as cidades com mais de 100.000 habitantes foram as que mais cresceram no Brasil, sendo que hoje, 1/3 da população do Estado de São Paulo mora em cidades com população entre 100.000 e 500.000 habitantes. Neste contexto, São Carlos se destaca, apresentando em 1980 uma taxa de crescimento anual de 2,57%, superior à média do Estado de São Paulo (PMSC, 2004a).

6.1 Expansão da área urbana e impactos ambientais

A forma como se processa a expansão urbana na cidade de São Carlos, de forma descontínua e fragmentada, guiada basicamente por interesses econômicos, tem colocado em risco a existência de fragmentos de vegetação nativa, comprometido a qualidade da d'água e do solo e o sistema de drenagem.

A cidade cresceu sobre áreas inadequadas e de forma intensa nas últimas décadas, o que vem exercendo uma forte pressão sobre o ecossistema original, cujos resultados são refletidos no aumento das áreas impermeáveis, na redução de sua área verde, nos problemas de erosão, proteção de encostas e mananciais, poluição dos córregos, e enchentes

Nesse processo de produção do ambiente urbano, não houve adequação do uso do solo às características do meio, o que resulta na declividade acentuada de vias e na falta de áreas verdes qualificadas, para servir a atividades recreativas e de lazer, além de melhorar a qualidade ambiental e de vida. Isso indica que, embora existam grandes parcelas de áreas vazias públicas, na maioria são espaços intersticiais, sem clara definição de uso e mal localizadas ou desarticulados no tecido urbano, o que impede a sua valorização, gerência e uso pela população. Esse comportamento também contribui para a grande ocupação irregular em áreas inadequadas do ponto de vista ambiental.

Os usos do solo na cidade foram impostos pelas restrições definidas por meio de Contratos de Loteamentos, caso a caso, incompatíveis com a necessidade real de regulação de uso do solo da cidade, gerando irregularidades e ilegalidades³⁶. De acordo com Oliveira (1996), notadamente após a década de 70, permitia -se que áreas de preservação permanente fossem incluídas no memorial descritivo e plantas dos loteamentos, quando a legislação federal dispunha de forma relativamente satisfatória sobre normas e penalidades relativas à proteção dos recursos hídricos e ao ordenamento da expansão urbana.

Foi a partir dos anos 70 que o conflito entre a expansão urbana e as áreas ambientalmente frágeis se acentuou, principalmente com a invasão de áreas de proteção ambiental à beira dos córregos e a implantação de vias marginais (PMSC, 2004a) (figura 6.2), que, além dos impactos da própria instalação sobre as APPs, contribuem para o direcionamento da

³⁶ Em Síntese da reunião do Comitê Consultivo, Parte 02: Desenvolvimento Urbano. *Processo de Elaboração do Plano Diretor de São Carlos*, realizada em 18 /12/ 2002. Processo de Elaboração do Plano Diretor, Prefeitura Municipal de São Carlos, 2002.

expansão urbana nos fundos de vale³⁷. De acordo com Oliveira (1996), os córregos passam a ser reconhecidos como "*barreiras ao desenvolvimento natural do traçado urbano e a viabilização sistemática, progressiva e ininterrupta de implantações de avenidas marginais*".



Figura 6.2: Construção da Avenida marginal, em 1974, na região do Córrego do Gregório.
Fonte: PMSC (2004a)

Diante dessas características do crescimento da cidade, os vários córregos que atravessam o tecido urbano têm sido transformados, perdendo suas características naturais. A poluição dos cursos d'água está associada, sobretudo, ao uso inadequado dos recursos hídricos e do solo e aos efluentes de esgoto urbano lançados *in natura*³⁸.

A permissividade da legislação municipal de parcelamento do solo e a ausência de uma fiscalização técnica mais efetiva propiciaram a ocorrência de sucessivas obras de engenharia, sem levar em conta o conjunto da rede de drenagem, a expansão urbana e a legislação ambiental. Conseqüentemente, essas ações modificam as seções transversais e o perfil longitudinal dos rios, alterando o fluxo, provocando o estrangulamento do canal em alguns pontos e deslizamentos, contribuindo para a ocorrência de enchentes.

A falta de planejamento ou de integração entre as ações que guiaram o crescimento da cidade, nas épocas passadas, ao não determinar diretrizes para a implantação de novos loteamentos, sendo estes apenas justapostos, resulta no atual estado da configuração da cidade, que gera enorme passivo ambiental e causa nos dias de hoje

³⁷ Ver a respeito PINHO, P. M. (1998). *Aspectos Ambientais da Implantação de "Vias Marginais" em áreas urbanas de fundos de vale*. Dissertação (mestrado). Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos.

sérios problemas, como os relativos à mobilidade, a drenagem e a degradação ambiental. Como agravante, os atuais vetores de expansão estão pressionando áreas que exigem muitos cuidados para ocupação, tais como os mananciais e a Área de Proteção Ambiental de Corumbataí.

6.2 Caracterização física do município

Topografia, Geologia e Pedologia

Localizado na região central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 47o30'e 48o30' Longitude Oeste e 21o30' e 22o30' Latitude Sul, o município de São Carlos está sobre a formação geológica Sistema Aquífero Serra Geral (Formação Serra Geral) e Sistema Aquífero Bauru (Formação Marília). A primeira ocorre nas regiões leste e oeste do município, em relevo montanhoso, com declividades superiores a 20% (figura 6.3).

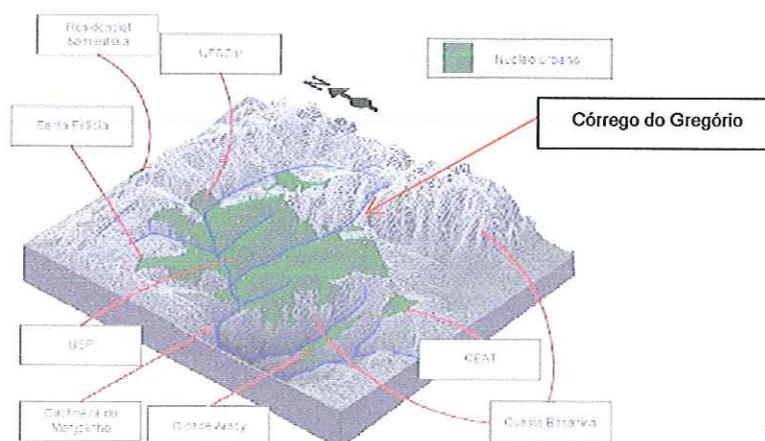


Figura 6.3: Representação ortogonal tridimensional da mancha urbana de São Carlos
Fonte: Oliveira (1996)

De maneira geral, o município de São Carlos é caracterizado por solos de alta permeabilidade, sendo constituído, em sua maioria, por zonas de solo latossolo-vermelho-amarelo e de areia quartzosa profunda, com característica arenosa (OLIVEIRA, 1996).

A altimetria do município apresenta uma variação de 480 metros. As menores cotas (520 metros) estão localizadas na área de alagamento próxima ao Rio Mogi-Guaçu, ao Norte. As cotas mais altas atingem 1.000 metros, na porção Sudeste do Município. A declividade varia entre 2% a 20%, mas em alguns pontos mais íngremes, encontra-se valores acima

³⁸ De acordo com a Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC, 2004a) 100% do esgoto da cidade é lançado sem

de 30%, onde o risco de erosão aumenta, uma vez que a densidade da drenagem em São Carlos é bastante alta.

Clima

O clima de São Carlos é classificado como úmido subtropical (TOLENTINO apud OLIVEIRA, 1996) apresentando duas estações bem definidas: a estação chuvosa, de outubro a março, durante a qual ocorrem as chuvas de verão, de alta intensidade e curta duração, com clima super úmido e tropical; a estação seca, de abril a setembro, com clima sub-úmido e temperado. Os valores médios anuais de precipitação e umidade relativa são de 1512 mm e 66%, respectivamente (OLIVEIRA, 1996).

Vegetação

O cerrado é a vegetação original, apresentando uma fisionomia que varia desde campo cerrado até cerradão, atingindo até 6 metros de altura. A vegetação nativa, segundo Oliveira (1996), tem sido alterada por atividades de reflorestamento, loteamentos e mineração, sendo atualmente reduzida a alguns fragmentos florestais, principalmente nas imediações do bairro Cidade Aracy, onde a textura arenosa do solo compromete o uso agrícola. Nestas áreas a vegetação se apresenta mais aberta e baixa.

As pastagens ocupam a maior parte das terras que circundam o núcleo urbano, exceto no lado leste, em direção a Ibaté, onde são encontradas culturas de cana-de-açúcar. À leste do perímetro urbano existem áreas de reflorestamento (Pinus) e na região sudeste, predomina a agricultura diversificada.

Hidrografia

O município de São Carlos está localizado sobre o divisor de águas que limita duas macro-bacias hidrográficas, 70 % pertence a UGRHI do Rio Mogi-Guaçu ao norte e 30 % na UGRHI do Tietê-Jacaré ao sul, fato associado à sua localização elevada no Estado. Em razão disso, a maioria dos cursos d'água que drenam São Carlos e a totalidade dos que drenam a área urbanizada têm suas nascentes localizadas no município. Estas duas macro-bacias são subdivididas em dez micro bacias, de acordo com PMSC (2004a), sendo as de maior relevância:

- Bacia do Monjolinho: a jusante recebe todo o esgoto da cidade, ainda sem tratamento e, a montante, oferece um importante ponto de captação para o abastecimento de água da cidade no manancial do Espreado. Nessa micro-bacia está localizada toda a mancha urbana da cidade, tendo como principal tributário o Córrego do Gregório.

- Bacia do Feijão: situada na APA Corumbataí, é responsável por 40% do abastecimento da água de São Carlos. Essa bacia é área de recarga do Aquífero Guarani.

- Bacia do Quilombo: nesta bacia se encontra um veio de comunicação histórico pelo qual se estabeleceram grandes propriedades do Ciclo Cafeeiro. Atualmente, o Vale do Quilombo é considerado o grande vetor de potencial turístico histórico-ecológico no município.

A urbanização está se expandindo na direção das bacias do Monjolinho e do Feijão, necessitando de controle e regulamentação para que tais ocupações não comprometam ainda mais as suas características ambientais.

A figura 6.4 representa as micro-bacias que abrangem a área urbana do município.

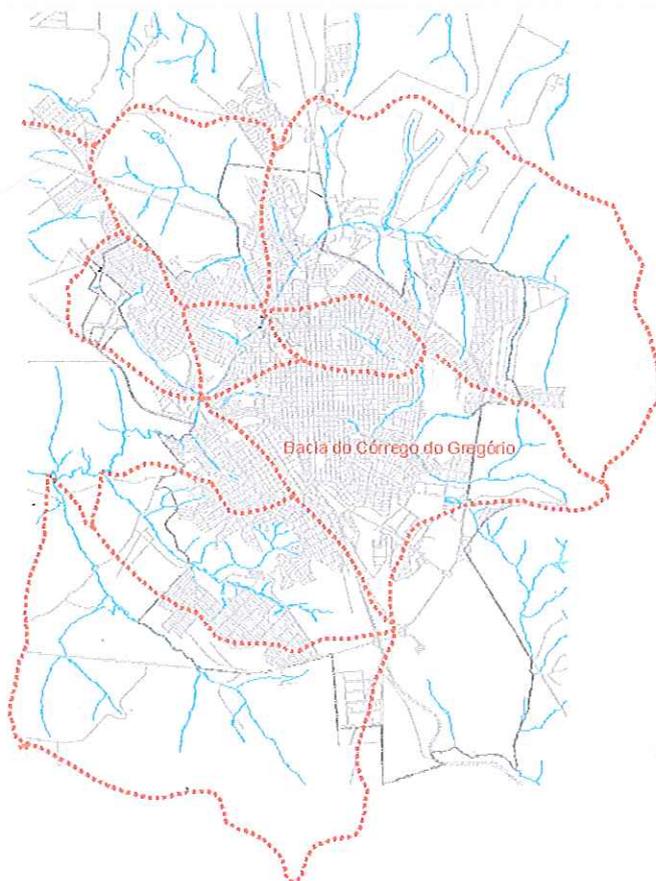


Figura 6.4: Micro- bacias da área urbana de São Carlos. Fonte: PMSC (2004a).

CAPÍTULO 7- A BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO

A Bacia do Córrego do Gregório está totalmente situada no município de São Carlos, na sua porção central, abrangendo uma área de 19 km², na confluência com o Rio Monjolinho. A região mais urbanizada é a porção central da bacia (figura 7.1), fazendo parte do primeiro núcleo urbano de São Carlos, implantada sobre uma malha ortogonal, hoje densamente ocupada. A região leste constitui a parte rural da bacia, abrangendo as nascentes dos córregos de drenagem. A porção entre o setor leste e o centro da bacia está em processo avançado de ocupação (figura 7.10).

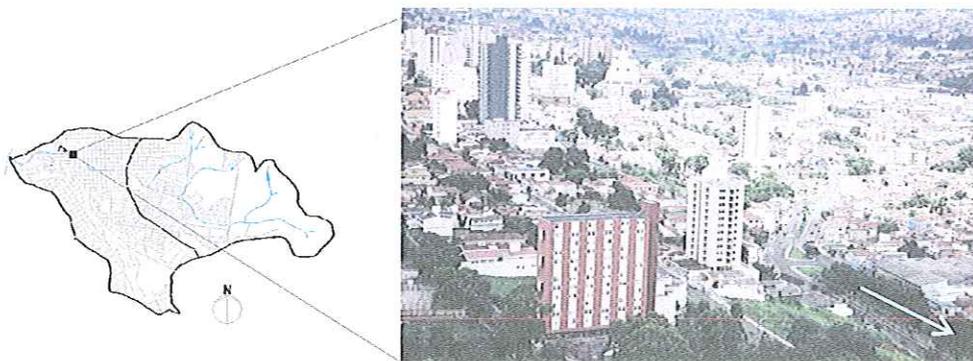


Figura 7.1: Área central da Bacia do Córrego do Gregório. Sentido montante-jusante.
Fonte: PMCS/SMH DU (2004).

A forma de ocupação urbana de São Carlos, descrita anteriormente, é a causa principal das enchentes que ocorrem no período chuvoso (novembro a março), sobretudo na região central da cidade, próximo ao Mercado Municipal, onde a calha do rio foi totalmente desnaturalizada pelas obras de canalização, tamponamento e implantação de marginais, acarretando ao longo desses anos, danos ambientais, econômicos e sociais (figuras 7.2 e 7.3).

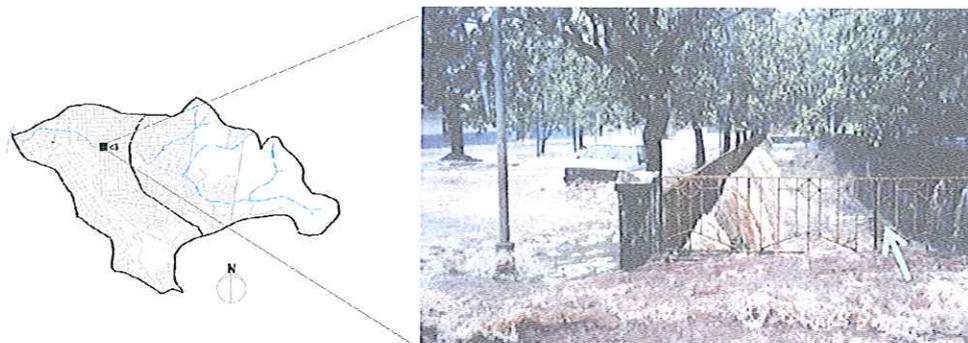


Figura 7.2: Enchente do Córrego do Gregório na área central da cidade. Sentido montante-jusante.
Foto: Defesa Civil (2002).

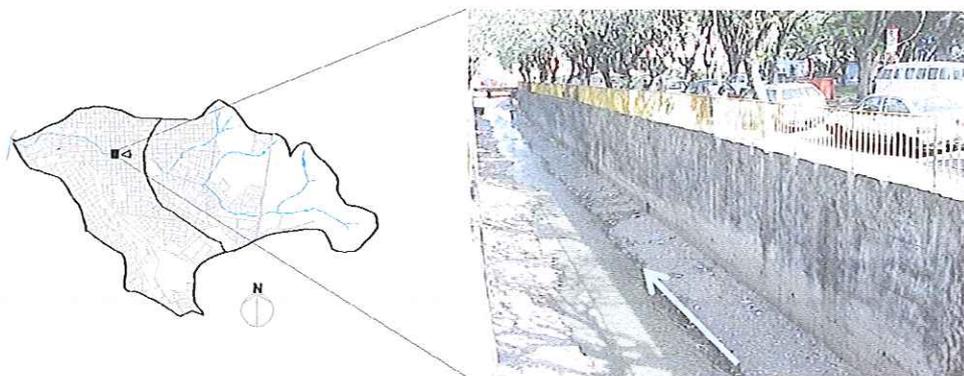


Figura 7.3: Canalização do trecho que atravessa a área central da cidade. Sentido montante-jusante.
Foto: Alves(2002).

As inundações nessa sub-bacia ocorrem de modo muito rápido (15 a 30 minutos) e atingem cotas que variam, nos piores casos, entre 50 cm e 150 cm (RIGHETTO *et al*, 2003 apud RIGHETTO e MENDIONDO, 2004).

As notícias de jornal obtidas e sistematizadas no trabalho de Mendes *et al*. (2004) indicam ocorrência de inundações na região do Mercado Municipal desde 1947, evidenciando que a área é sujeita a inundações desde os primórdios da expansão urbana da cidade, na década de 1940.

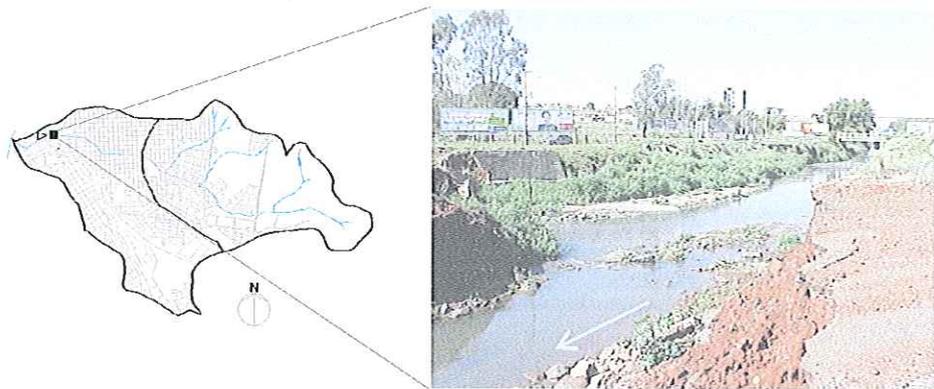


Figura 7.4: erosão no Córrego do Gregório em trecho a jusante. Sentido jusante-montante.
Foto: Alves(2002).

Diante da suscetibilidade da área a enchentes, além do processo de erosão hídrica (figura 7.4), a tendência é que essa situação se agrave ainda mais, visto que a ocupação da área leste da bacia está crescendo, sem considerar os impactos sobre as regiões a jusante, atingidos pelas cheias, embora a rodovia Washington Luiz ainda represente um obstáculo à expansão (figura 7.5).

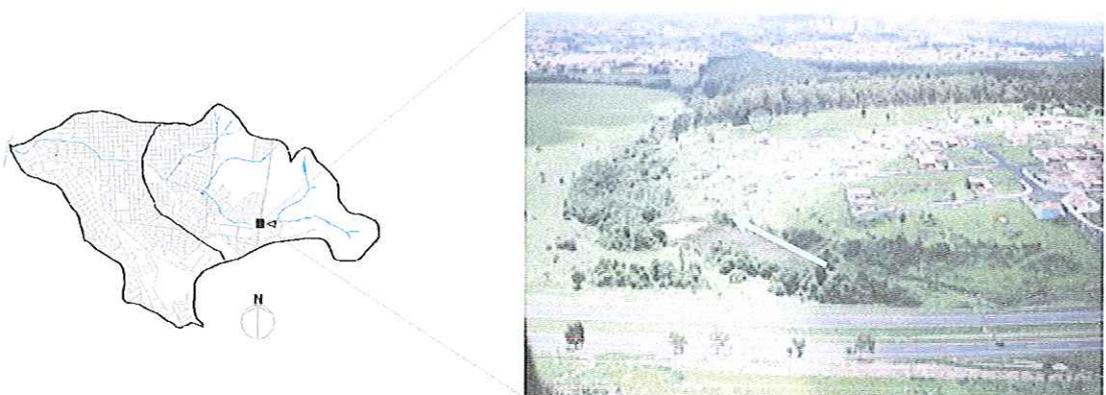


Figura 7.5: Processo de ocupação próximo à Rodovia W. Luiz. Sentido: montante-jusante
Foto: PMCS/SMH DU (2004).

Devido à questão das freqüentes enchentes que ocorrem nessa região, a Bacia do Córrego do Gregório tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas em hidrologia urbana na Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, como aponta Silva

(2003)³⁹, voltadas à obtenção de dados hidrológicos, como chuva, vazão e infiltração e modelagem dos processos físicos dos escoamentos na referida bacia. Sendo assim, essa foi a bacia escolhida para estudo de caso nesse trabalho.

7.1 Área de Estudo

Para a realização do presente estudo de caso, foi necessário um recorte na micro-bacia do Córrego do Gregório, devido a disponibilidade de dados atuais de chuva-vazão para essa área, onde foi instalado um linígrafo. Abrange as porções do alto e médio curso do córrego, cuja área é de aproximadamente 10 km² (53% da área de toda a bacia), dos quais 6 km² corresponde a área rural ou em urbanização e 4 km² refere-se a área já urbanizada (figura 7.6). Essa área de drenagem tem comprimento de talvegue de 5,8 km e declividade média de 0,023 m/m (ESTEVES e MENDIONDO, 2003), cujo exutório está cruzamento da Avenida Comendador Alfredo Maffei com a Rua Campos Salles (figuras 7.6, 7.7a e 7.7b), local de instalação do linígrafo (figura 7.6).

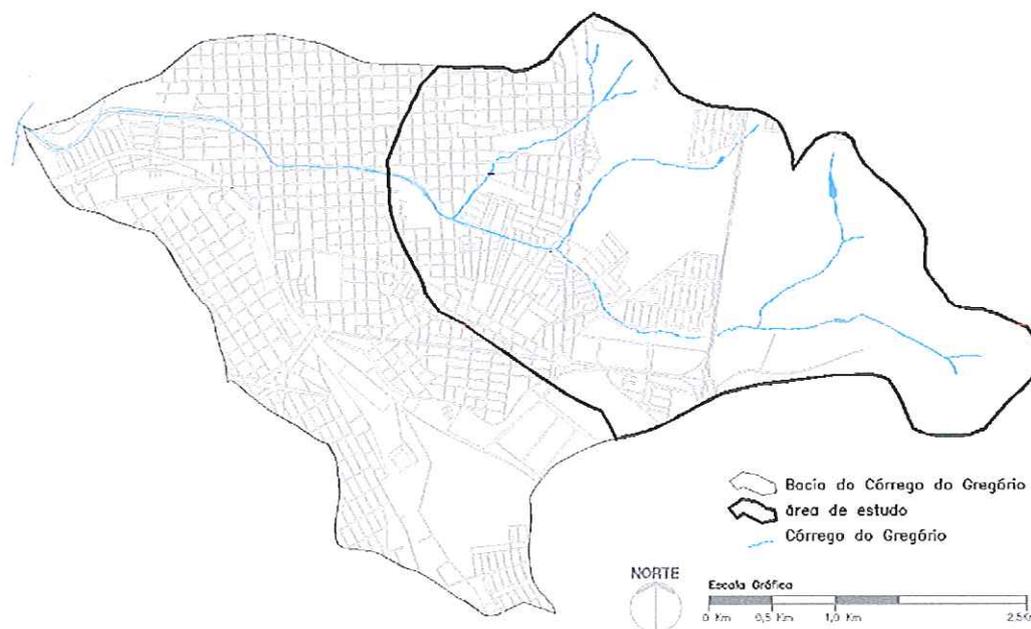


Figura 7.6: Área de estudo: trechos do alto e médio curso do Córrego do Gregório.
Fonte: CDCC – USP/SC (2001).

³⁹ SILVA, K. A. (2003). Análise da variabilidade espacial de precipitação e parâmetros hidrológicos em bacia experimental: estudo da transformação da chuva em uma pequena bacia hidrográfica urbana. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

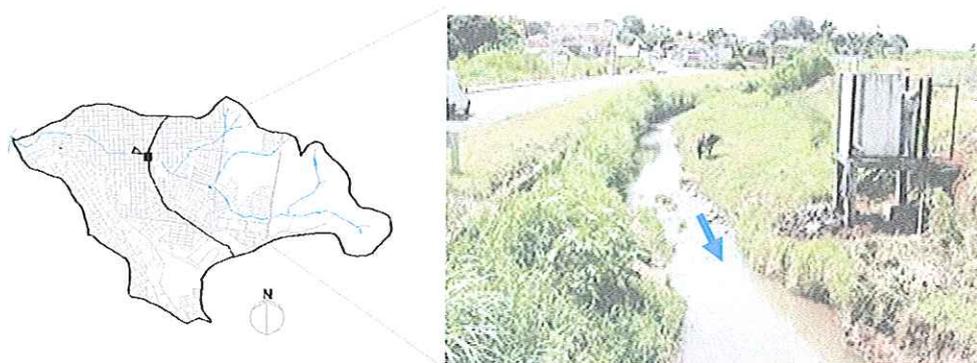


Figura 7.7a: Ponto de instalação do linígrafo. Sentido montante-jusante.
Fonte: Esteves e Mendiondo (2003)



Figura 7.7b: Região final da área de estudo. Sentido montante-jusante.
Foto: PMCS/SMH DU (2004)

7.1.1 Caracterização ambiental e urbana da área de estudo

Hidrografia

O alto e médio curso do córrego do Gregório recebem afluentes apenas pela margem direita, como pode ser observado na figura 7.8, sendo os principais: o Córrego Invernada (figura 7.10) e o Córrego Lazarini (figura 7.11). Devido à impermeabilização, soterramento da nascente e canalização, um dos demais afluentes (indicado com seta na figura 7.8), apresenta-se sem escoamento algum, conforme mostra a figura 7.9.

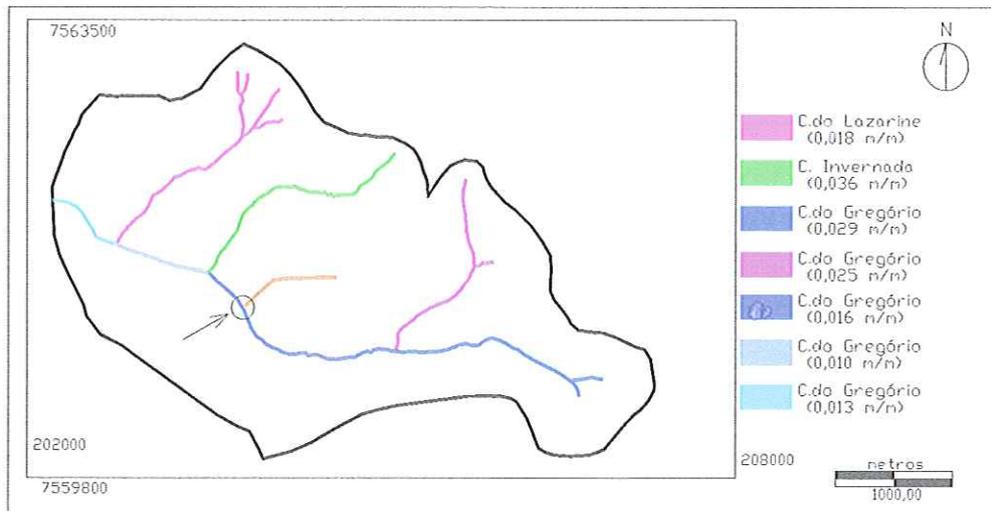


Figura 7.8: Hidrografia da Sub- Bacia do Córrego do Gregório
 Fonte: CDCC – USP/SC (2001).



Figura 7.9: Afluente do Gregório canalizado e sem escoamento.
 Foto: Alves (2008).



Figura 7.10: vista aérea do Córrego Invernada. Sentido montante-jusante.
 Foto: PMCS/SMH DU (2004).

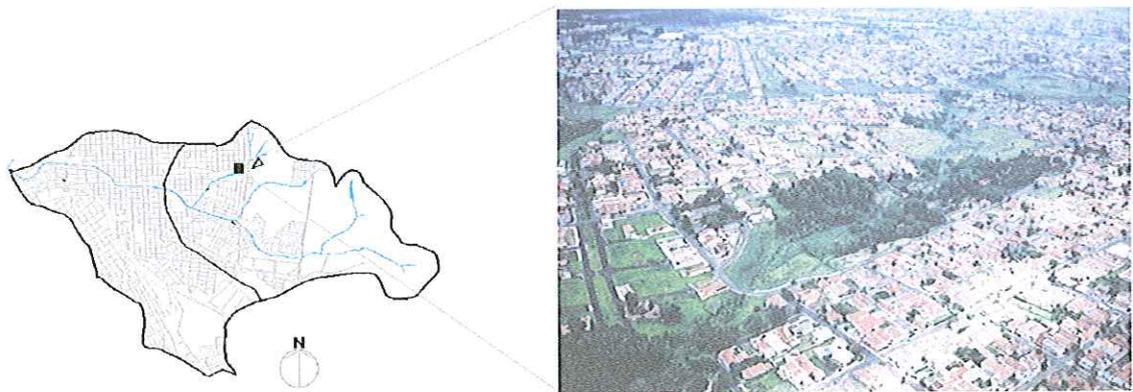


Figura 7.11: vista aérea do Córrego Lazarini. Sentido montante-jusante.
Foto: PMCS/SMH DU (2004)

Relevo, Geologia e Pedologia

A conformação geológica-geomorfológica da área de pesquisa propicia uma paisagem altimetricamente representada entre cotas que variam de 810m até 945m (figura 7.12). A partir das curvas planialtimétricas da região, é possível identificar que a bacia apresenta áreas de declividade mais acentuada (30%) em pontos do entorno dos corpos d'água, dentro da faixa de APP.

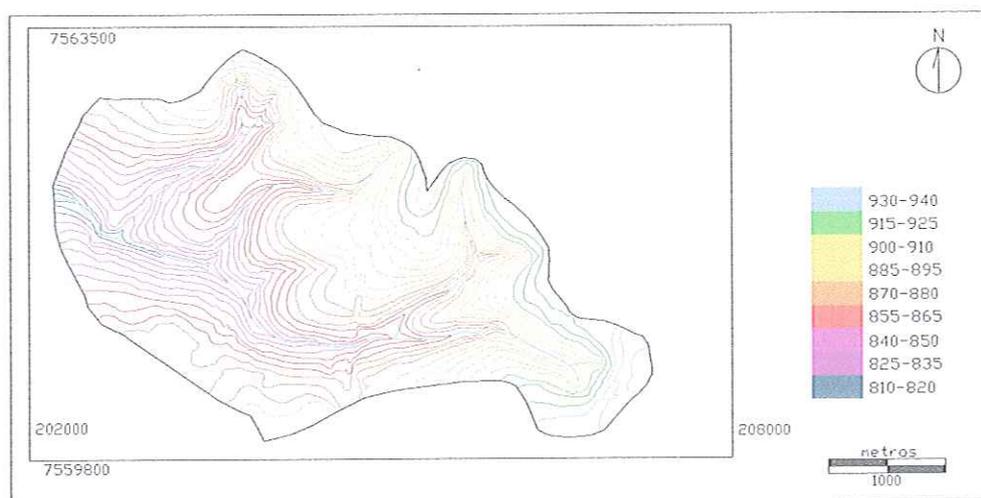


Figura 7.12: curvas planialtimétricas da área de estudo
Fonte: CDCC – USP/SC (2001).

De acordo com trabalho sobre caracterização do solo de São Carlos desenvolvido por Lorandi(1985), o município de São Carlos apresenta Formação Serra Geral, ocupando

parte da área de fundo de vale dessa sub-bacia do Córrego do Gregório, e Formação Marília, que recobre o restante da área.

Quanto aos aspectos pedológicos, ocorre a presença do Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico a oeste da sub-bacia, em algumas áreas de fundo de vale, mas, predomina o Latossolo Vermelho Amarelo nessa região (figura 7.13)

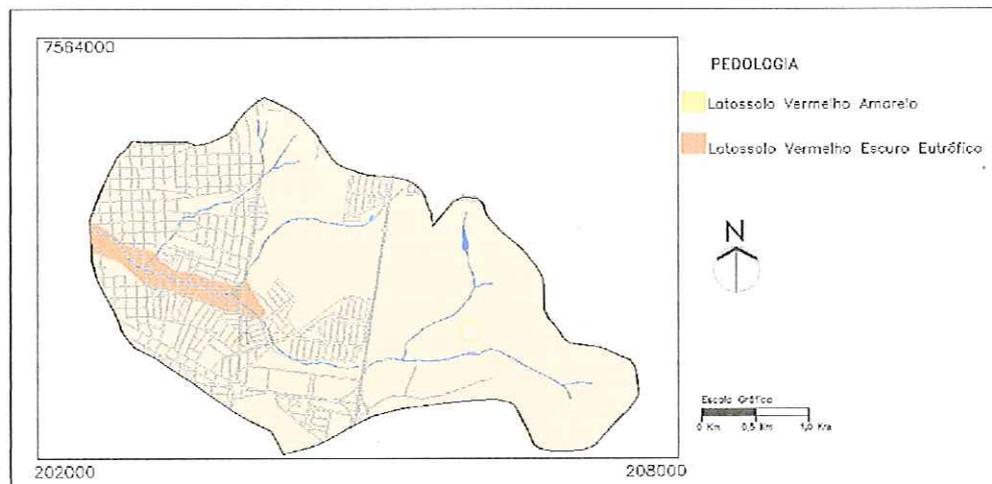


Figura 7.13: Feições pedológicas da área de estudo.
Fonte: adaptado de Lorandi (1985, apud SILVA, 2003).

Por apresentar solo suscetível ao processo de erosão hídrica, devido às propriedades de boa drenagem inerentes a esse solo de textura arenosa, a bacia apresenta pontos de queda de taludes e assoreamento nos fundos de vale, principalmente durante o período de chuvas, tanto em trechos mantidos naturais (figura 7.14), como em setores onde existem obras de contenção. Além disso, contribui para o agravamento da erosão e das inundações, em trechos do córrego, o fato de que as travessias ao longo do rio são construídas sobre canalização fechada, pontos de estrangulamento do rio, ocasionando represamento (remanso) e propagação das águas para montante, por exemplo, em área próxima ao encontro do Lazarini com o Córrego do Gregório (figura 7.15).

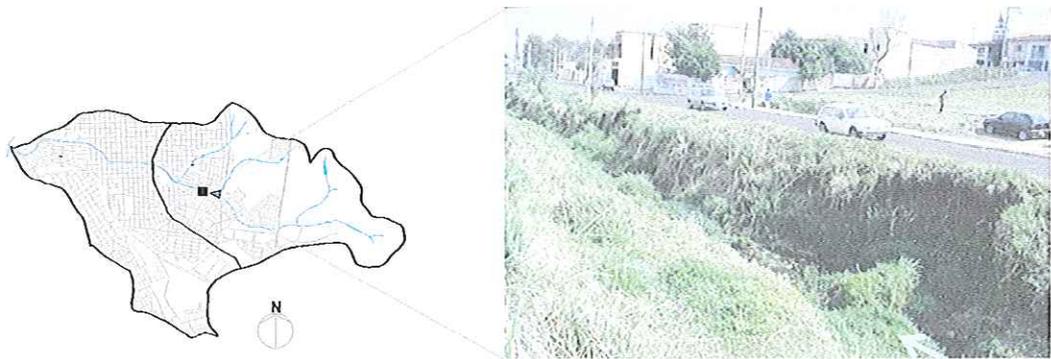


Figura 7.14: Erosão e ocupação próxima às margens do Gregório. Sentido montante-jusante.
Foto: Alves (2004)

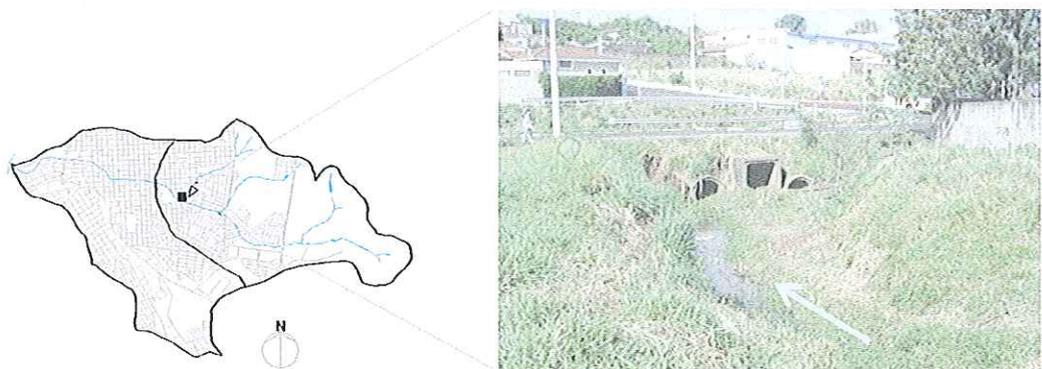


Figura 7.15: Canalização fechada sob travessia no córrego Lazarini. Sentido montante-jusante.
Foto: Alves (2004)

Vegetação

A partir de interpretação visual de fotografia aérea de 1998 (parte central e oeste da bacia), fotos panorâmicas de 2004 cedidas pela SMH DU e checagem em campo, identificam-se áreas onde ocorrem fragmentos de cerrado, vegetação nativa da região de São Carlos, que tem sido progressivamente alterada por atividades de reflorestamento, loteamentos, mineração, pastagens e agricultura, sendo atualmente reduzida a alguns fragmentos florestais (figura 7.16). Alguns remanescentes de mata ciliar também existem ao longo de certos trechos dos corpos d'água (figuras 7.5, 7.10 e 7.11).

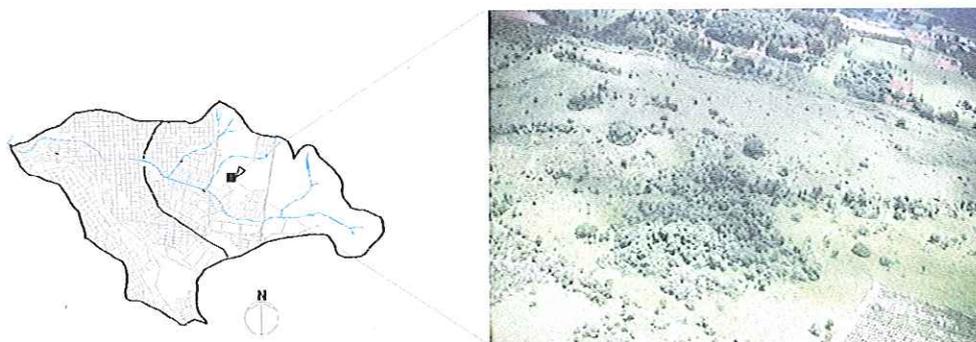


Figura 7.16: vista de um fragmento de cerrado na bacia de estudo
Foto: PMCS/SMH DU (2004).

Uso e Ocupação do Solo

O sistema em estudo compreende áreas rurais, urbanas e áreas dentro do perímetro urbano, porém, não ocupadas.

As categorias de uso e ocupação do solo atual (figura 7.17) foram obtidas do levantamento do Plano Diretor (PMSC, 2004a) e de leitura da fotografia aérea de 1998.

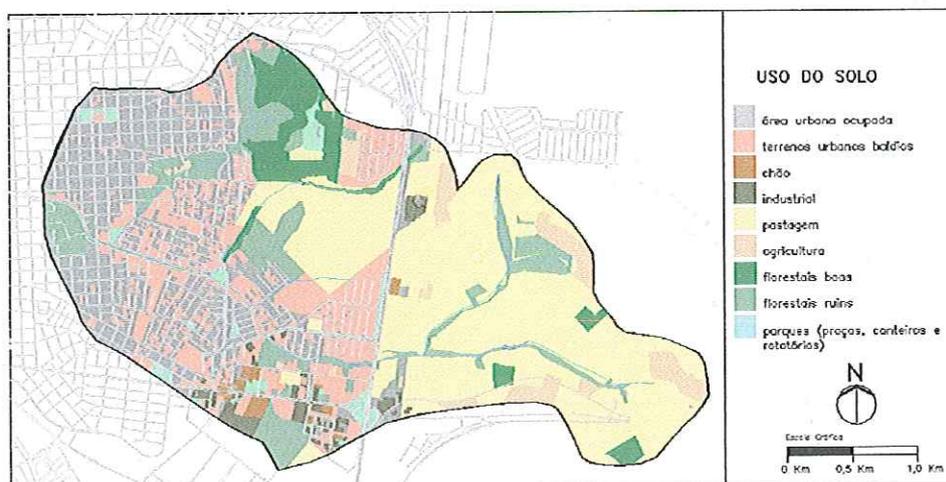


Figura 7.17: Uso do solo atual.⁴⁰

O processo de expansão urbana nesse sistema pode ser visto na figura 7.18, onde se verifica que o crescimento das áreas impermeáveis na bacia foi progressivo e passou de 14% em 1970 para cerca de 30 % em 2002.

⁴⁰ Foram utilizadas essas classes de uso do solo para facilitar a entrada de dados no modelo hidrológico.

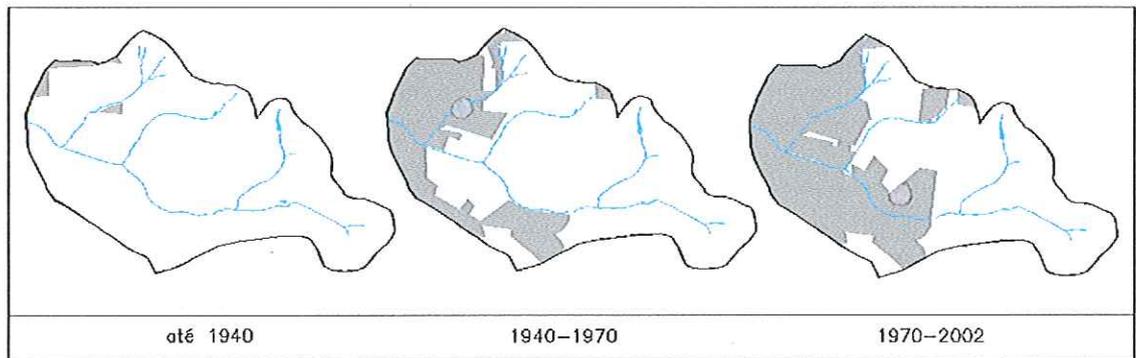


Figura 7.18: Crescimento das áreas impermeáveis na área de estudo ao longo de 61 anos (1941- 2002). Montagem resultante do mapa de expansão urbana da cidade (PMSC, 2004a).

Ao analisar a evolução da ocupação urbana na bacia (figuras 7.19a e 7.19b), verifica-se que a porção central manteve-se sem urbanização até o início da década de 70, começando a ser ocupada no final da década de 80. Mesmo atualmente, ocorre extensos vazios nessa região, em processo de adensamento.

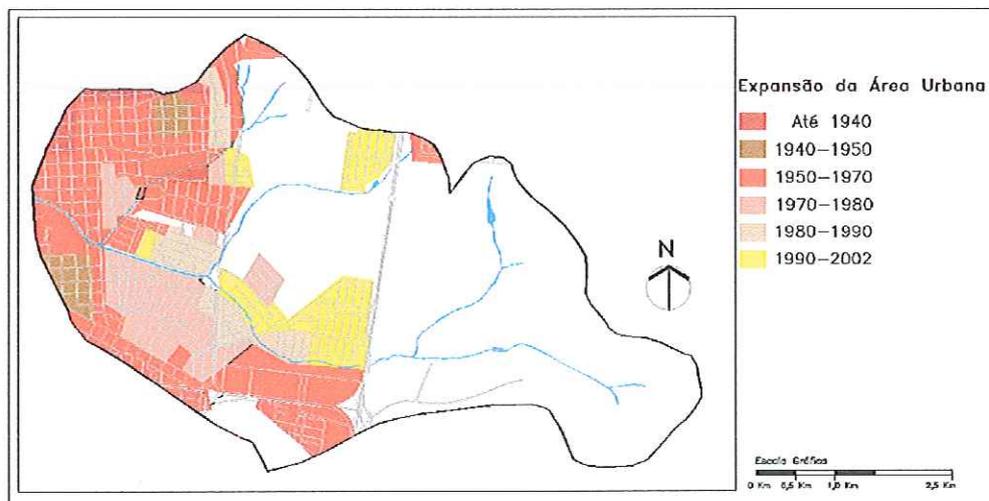


Figura 7.19a: Expansão da área urbana na sub-Bacia do Córrego do Gregório de 1940 a 2002. Fonte: adaptado de PMSC (2004a)

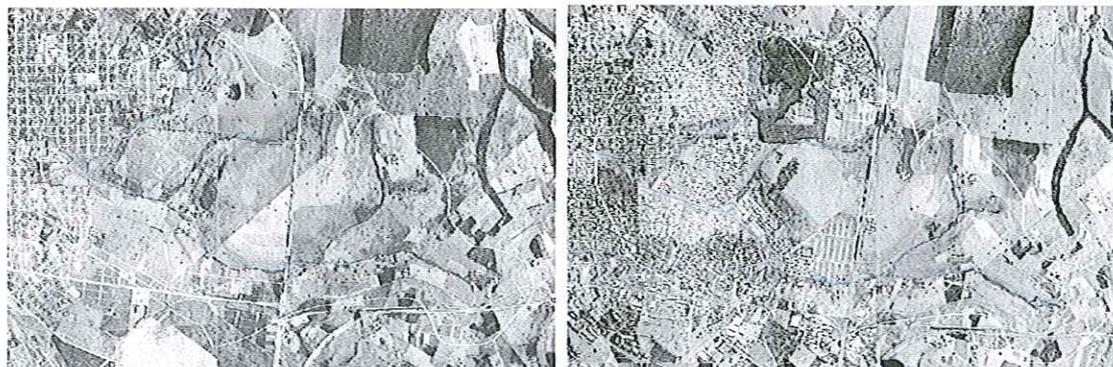


Figura 7.19b: Expansão da área urbana na sub-Bacia do Córrego do Gregório de 1962 a 1998.
Fonte: Casa da Agricultura e PMSC.

Atualmente, de acordo com o macrozoneamento do projeto de Lei do Plano Diretor de São Carlos (PMSC, 2004b), o perímetro urbano passa a englobar áreas para além da rodovia Washington Luiz, considerando os novos loteamentos já aprovados nessa região (figura 7.20).

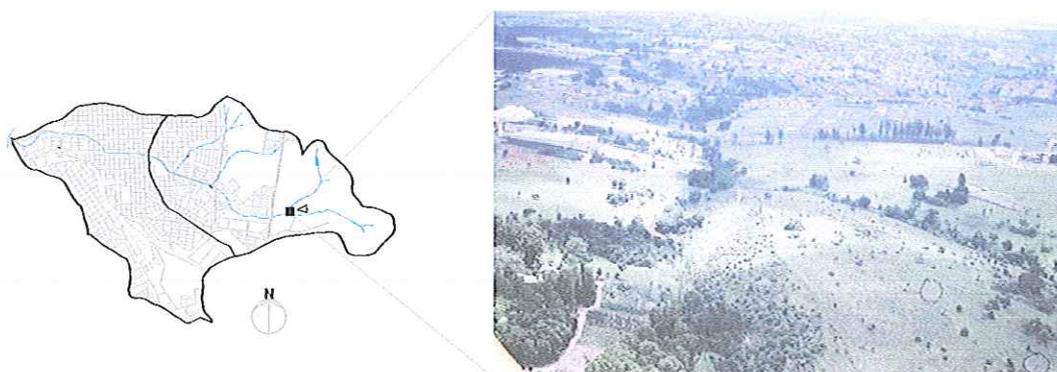


Figura 7.20: vista aérea do limite do perímetro urbano (após a rod. W. Luiz), sentido montante - jusante
Foto: PMCS/SMH DU (2004).

Na zona rural, em sua maior parte, ocorre atividade agrícola, composta por culturas diversificadas, além de áreas de pastagens e configuração de chácaras de recreio.

Observando o mapa de Uso do Solo atual (figura 7.17) vê-se que a porção urbana da bacia se trata de uma área de uso essencialmente residencial/comercial com algumas indústrias. Verifica-se a fragmentação do tecido urbano na região centro-oeste da bacia, com pontos esparsos de loteamentos semi-ocupados, exceto no setor extremo oeste, onde a ocupação é consolidada e contínua.

Além disso, observa-se uma concentração, dentro do perímetro urbano, de áreas sub utilizadas, tanto propriedades privadas, contíguas aos córregos ou nos loteamentos mais afastados, quanto em áreas públicas situadas nas faixas de proteção, sem

manutenção da mata ciliar, principalmente em trechos associados à implantação da avenida marginal.

É provável que o abandono e degradação desses espaços esteja associado ao fato de que sejam áreas de proteção permanente e/ou áreas públicas de loteamentos determinadas pela lei de ordenamento municipal, que, no entanto, não obrigam a sua verdadeira manutenção e qualificação. Essas áreas verdes e as institucionais estão muitas vezes localizadas, indevidamente, em terrenos com alta declividade ou junto aos córregos⁴¹, o que impossibilita seu uso e valorização por parte da população.

7.1.2 Análise do meio e definição das restrições à ocupação

Analisando a Caracterização Ambiental da área de Estudo, descrita no item 7.1.1, juntamente com o diagnóstico do município realizado pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC, 2004a), é possível definir restrições ambientais e exigências legais que incidem sobre essa área a fim de serem consideradas no processo de ocupação urbana da Bacia do Córrego do Gregório.

7.1.2.1 Restrições Ambientais

Entre essas restrições, destacam-se as referentes à declividade e à suscetibilidade à erosão. A primeira remete às áreas cuja declividade é acentuada, igual ou superior a 30%, para as quais se recomenda a não ocupação e a recuperação da vegetação, recomendações essas que valem também para as áreas propensas à erosão. A consideração desses fatores foi feita por Aguiar (1989), cujo estudo parte do levantamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos para estabelecer áreas restritivas e áreas suscetíveis à urbanização (figura 7.21). O presente estudo utiliza desses resultados para a escolha das áreas a serem preservadas, embora tal mapeamento não abranja a totalidade da bacia, uma vez que foi feito somente para a área de expansão urbana.

⁴¹ Conforme se observa na Lei de Parcelamento do Solo (Lei nº 6.766/79, artigo 3º) e no Código Florestal (Lei nº 4.771/65, artigo 2º) é vedado o parcelamento do solo em terrenos com essas características.



Figura 7.21: Mapeamento Geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos
Fonte: PMCS/SMH DU (2004)

Com relação à suscetibilidade a erosão, foi considerado também uma região delimitada pelo levantamento do Plano Diretor que se refere a uma área da bacia em processo de erosão.

Outras questões também foram levadas em conta quando avaliadas as áreas propícias à recomposição e manutenção da vegetação: a existência de fragmentos de vegetação⁴² e a sua proximidade de outros remanescentes, sejam eles isolados ou contíguos aos córregos, de modo que possibilitem a conectividade das massas verdes e a formação de corredores ou parques lineares na bacia.

Esses critérios se conciliam com as determinações do Plano Diretor de São Carlos, que delimita como Área Especial de Interesse Ambiental (AEIA)⁴³ as faixas de proteção dos dois principais córregos afluentes do Gregório (Lazarini e Invernada) e incorpora outras áreas públicas lindeiras a essas faixas, como uma grande área verde na região do bairro Centreville (figura 7.22).

⁴² Cabral e Souza (2002) apontam para a importância da manutenção de fragmentos de vegetação, ao dizer que *"independentes de seu tamanho e estado, devem ser protegidos, de maneira a favorecer a manutenção da biodiversidade e garantir a conservação dos solos e dos recursos hídricos"*.

⁴³ O Projeto de lei do Plano Diretor de São Carlos no artigo 62 diz que: *"As Áreas Especiais de Interesse Ambiental são porções do território destinadas a proteger e recuperar os mananciais, nascentes e corpos d'água; a preservação de áreas com vegetação significativa e paisagens naturais notáveis; áreas de reflorestamento e de conservação de parques e fundos de vale."* (PMSC, 2004a).

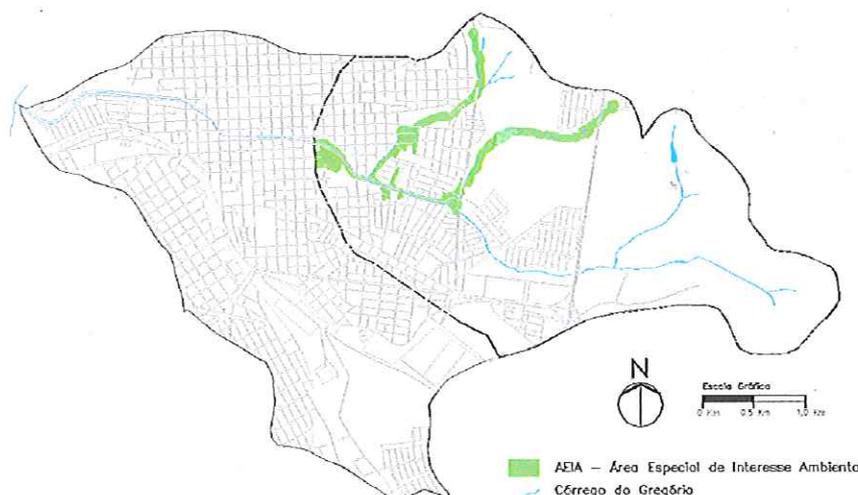


Figura 7.22: Área Especial de Interesse Ambiental na Bacia do Córrego do Gregório
Fonte: PMCS/SMH DU (2004a).

A partir disso e acrescentando-se as restrições do ponto de vista legal, descritas no item seguinte, pôde-se estabelecer um conjunto de áreas com potencial para preservação.

7.1.2.2 Exigências da Legislação Ambiental

Há algumas exigências ambientais específicas estabelecidas em âmbito federal pelo Código Florestal⁴⁴ (BRASIL, 1965) e a Lei de Parcelamento do Solo Urbano⁴⁵ (BRASIL, 1979) que devem ser observadas no uso e ocupação do solo.

O desenvolvimento da legislação ambiental no âmbito federal tem mostrado uma nítida tendência de evolução, não somente no que tange às disposições legais em termos de restrições de usos, mas, sobretudo com relação à forma em que se aborda as questões ambientais e à finalidade da proteção dos recursos a que se destina.

Com relação às áreas a serem preservadas, a lei de Parcelamento do Solo Urbano veda o parcelamento, entre outras situações, em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo se atendidas exigências específicas de autoridades

⁴⁴ Lei nº 4.771/65, alterada pelo Decreto - Lei nº 289/67, pelas leis 5.106/66, 5.868/72, 7.803/89 e 7.875/89 e, a partir de 1996, por várias medidas provisórias, sendo o texto vigente atualmente, aquele dado pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. As alterações no Código Florestal, dadas por essas leis posteriores, resultaram numa redação mais restritiva com relação às faixas de preservação ao longo dos cursos d'água, que o adequou à Constituição Federal de 1988, de acordo com seu Artigo 225.

⁴⁵ Lei nº 6.766/79, atualizada pela lei 9.785/99.

competentes; em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; e em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação⁴⁶.

O Código Florestal foi a primeira lei brasileira voltada para a conservação dos ecossistemas naturais em terras particulares, estabelecendo dois instrumentos com esse objetivo: as áreas de preservação permanente (APPs) e as reservas legais (RLs).

As Áreas de Preservação Permanente, de acordo com o texto do Código Florestal, são destinadas a proteger as florestas e demais formas de vegetação com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e da flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Para cumprirem tais objetivos, as APPs não poderão ser suprimidas, total ou parcialmente, exceto em caso de utilidade pública ou de interesse social, quando não houver alternativa de localização para a atividade proposta⁴⁷.

De acordo com o artigo 2º do referido código consideram-se de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios e de qualquer curso d'água (em faixas marginais de diferentes larguras⁴⁸), ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios naturais ou artificiais, nascentes⁴⁹, nas encostas com declividade superior a 45º, topos de morros, restingas, encostas íngremes, bordas de tabuleiros e chapadas e locais com altitude acima de 1.800m. No artigo 3º são definidas outras categorias de APPs, quando assim declaradas por ato do Poder Público, como as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas a atenuar erosão nas terras, fixar dunas, formar faixas de proteção ao longo das rodovias e ferrovias, proteger sítios de valor científico, histórico e de

⁴⁶ art. 3º, parágrafo único (BRASIL, 1979).

⁴⁷ art. 3º, § 1º (BRASIL, 1965)

⁴⁸ As larguras das faixas marginais estão relacionadas às larguras dos cursos d'água e devem ser medidas a partir do seu nível mais alto ou leito maior sazonal, sendo que a largura mínima é de: 1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (artigo 2º, alínea "a", BRASIL, 1965).

⁴⁹ nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura (artigo 2º, alínea "c", Brasil, 1965).

excepcional beleza, exemplares ameaçados de extinção, além de manter ambiente necessário à vida das populações silvícolas e assegurar condições de bem-estar público.

Deve-se reconhecer que as APPs referidas no Código Florestal não se prestam somente à manutenção de uma coleção de biomassa vegetal e animal; acima de tudo servem para garantir a manutenção de funções ecológicas fundamentais. No entanto, a delimitação de uma metragem específica de terras ao longo dos córregos, como estabelece o próprio Código Florestal, não pode ser entendida como um limite além do qual as funções ecológicas deixam de operar ou simplesmente inexistam (OLIVEIRA, 1996). Os critérios do Código Florestal, sobretudo em relação aos fundos de vale, dizem respeito a uma "faixa mínima" de preservação e não a uma medida padrão ou faixa máxima. O alargamento dessas faixas de proteção para além dos 30 metros ao longo de córregos poderia melhorar o efeito de filtro, incrementar as funções ecológicas nas áreas públicas, contínuas e contíguas às APPs, áreas estas possíveis de serem designadas como Áreas de Especial Interesse Ambiental (AEIA).

Além das APPs, o Código Florestal prevê uma segunda modalidade de regulação das áreas vegetadas, a Reserva Legal (arts. 16 e 44), instrumento que estabelece, para todo o território nacional, a necessidade de manutenção de um percentual de área natural em todas as propriedades privadas no meio rural, ressalvada a de preservação permanente, onde a vegetação nativa não pode ser suprimida por completo, podendo apenas ser utilizada sob regime de manejo, com vistas à utilização sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos e à conservação da biodiversidade.

Essas restrições dizem respeito aos percentuais da reserva de floresta a ser constituída em cada propriedade, a depender da região em que esteja situada. Nas propriedades rurais localizadas em qualquer região do Brasil, exceto na Amazônia Legal, deve ser mantido, no mínimo, 20% (vinte por cento) do total da área na forma de reserva legal, assim entendida a área onde não é permitido o corte raso e deverá ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóveis competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou de desmembramento da área.

No Brasil a aplicação da Reserva Legal, instrumento de limitação ao uso das terras, é complexa, uma vez que é encarada como uma imposição de limites à produtividade econômica de terras privadas, enfrentando conflitos de interesses e sendo foco de discussão entre proprietários, governos e setores da sociedade (RANIERI, 2004). Nesse sentido, o trabalho do autor (op. cit.) identifica e estabelece caminhos para o equacionamento desses conflitos, além de propor estratégias para a conservação da biodiversidade por meio da reserva legal.

Ainda segundo o mesmo autor, uma característica da reserva legal que a difere das APPs diz respeito a sua localização, uma vez que, a determinação do local da reserva legal depende da aprovação do órgão ambiental competente (estadual, municipal ou instituição habilitada) e, de acordo com o texto legal⁵⁰, deve considerar critérios como: o plano de bacia hidrográfica, o plano diretor municipal, o zoneamento ambiental e a proximidade com outra reserva legal, APP, unidade de conservação ou outra área legalmente protegida⁵¹.

No âmbito municipal, A Lei Orgânica de São Carlos (34/1990) vem, efetivamente, reiterar as determinações legais de âmbito federal, sobretudo com relação à Constituição Federal e o próprio Código Florestal quando sintetiza a importância da manutenção dos ecossistemas e dos processos ecológicos, reconhecendo o valor de áreas de preservação permanente (nascentes, matas ciliares, várzeas, etc.), a obrigatoriedade da manutenção da capacidade de infiltração do solo, do zoneamento em áreas de risco de inundação⁵² e a recuperação de áreas degradadas.

⁵⁰ artigo 16, § 4º (Lei 4.771/65 alterada pela MP 2.166-67/2001).

⁵¹ A compatibilização entre instrumentos da política ambiental com os planos diretores municipais é necessária para que as especificidades e os interesses locais sejam considerados, sendo preconizada também pela Política Nacional de Recursos Hídricos (lei 9.433/97) e pela lei do Estatuto da Cidade (lei nº 10.257/2001). No entanto, como discutido no item 4.1, essa integração encontra dificuldade do ponto de vista prático.

⁵² A Lei Orgânica do Município (34/90) estabelece no Art. 264: "O Município, para proteger e conservar as águas e prevenir seus efeitos adversos, adotará medidas no sentido: I - da instituição de áreas de preservação das águas utilizáveis para abastecimento às populações e da implantação, conservação e recuperação de matas ciliares; II - do zoneamento de áreas inundáveis, com restrições a usos compatíveis naquelas sujeitas a inundações frequentes e da manutenção da capacidade de infiltração do solo; III - da implantação de sistemas de alerta e defesa civil, para garantir a segurança e a saúde pública, quando de eventos hidrológicos indesejáveis; IV - do condicionamento, a provação prévia por organismos estaduais de controle ambiental e de gestão de recursos hídricos, na forma de lei, dos atos de outorga de direitos que possam influir na qualidade ou quantidade das águas superficiais e subterrâneas; V - da instituição de programas permanentes de racionalização de uso das águas destinadas ao abastecimento público e industrial e à irrigação, assim como de combate às inundações e à erosão. (Grifo nosso).

Adicionalmente, é imprescindível reconhecer as atribuições do Poder Público de acordo com a Constituição Federal do Brasil⁵³: preservar e restaurar os processos ecológicos, preservar a diversidade e integridade do patrimônio genético, promover a educação ambiental em todos os níveis e proteger a fauna e a flora, vedadas as práticas que coloquem em risco sua função ecológica. Embora a legislação municipal de São Carlos apresente eminente importância, não explicita critérios objetivos que sejam mais restritivos que o próprio Código Florestal. Nesse sentido, Milaré (1999 apud CABRAL e SOUZA, 2002) adverte que os municípios têm em suas mãos um instrumento ideal para a gestão ambiental, em âmbito local, que é a disciplina do uso do solo, abrangendo todas as atividades exercidas no espaço urbano, incluindo itens de preservação ambiental.

Aplicação das restrições legais no estudo de caso

Considerando a necessidade de averbar Reserva Legal de propriedade rural, de acordo com o Código Florestal, a determinação de áreas a serem protegidas devido às vulnerabilidades do meio em questão – Bacia do Córrego do Gregório - auxiliam na delimitação daquelas áreas⁵⁴.

Partindo-se do pressuposto de que o planejamento ambiental tem como um dos objetivos a consideração da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, o presente estudo considerou que toda a reserva legal a ser averbada nessa bacia estaria localizada na mesma, porém, considerando as áreas potenciais para essa função.

Dessa forma, procurou-se aplicar tais critérios na formulação do cenário de planejamento prévio da ocupação urbana da bacia em estudo, onde foram consideradas as restrições descritas no item anterior para a escolha dessas áreas, o que possibilitou a manutenção de áreas sujeitas a erosão e o alargamento das áreas de preservação permanente.

Assim foram definidas como áreas de preservação nesse estudo, baseadas nas determinações do Código Florestal e da Lei de Parcelamento do Solo Urbano:

⁵³ A Constituição Federal, no artigo 30, parágrafo VIII, destaca como competência dos municípios promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (Brasil, 1988).

- As áreas ao longo dos córregos e ao redor de lagoas e nascentes;
- As áreas situadas em terrenos com declividade igual ou superior a 30% ;
- A Reserva Legal, para áreas rural e não ocupadas dentro do perímetro urbano⁵⁵.

A delimitação dessas áreas, conforme explicitado anteriormente, foi articulada às restrições ambientais da bacia e assim consideradas como medidas não-estruturais de prevenção de enchentes, na formulação dos cenários de uso e ocupação do solo.

A figura 7.23 ilustra as áreas da bacia com restrições à ocupação, a partir da associação das restrições ambientais e legais, totalizando 38,5 % da área de estudo.



Figura 7.23: Soma das restrições à ocupação na sub-bacia do Córrego do Gregório.

⁵⁴ Ver a respeito Ranieri (2004), que trata de forma detalhada da determinação de critérios ambientais a serem priorizados na escolha de áreas para localização de Reservas Legais.

⁵⁵ Embora a reserva legal deva ser averbada apenas para propriedades rurais, o presente trabalho considera que, pelo fato do Código Florestal ter entrado em vigor desde 1965, as áreas hoje dentro do perímetro urbano ainda não loteadas, mas que nesse período, ainda fizeram parte da zona rural do município, deveriam estar cumprindo essa determinação pendente. Uma vez averbada a RL, o proprietário, ao transformar sua gleba rural em área urbana loteável não poderia alterar a Reserva Legal, sendo razoável sua transformação em parque urbano, mantendo-a como área verde. O trabalho de Carioba, M. A.(2005) (em execução), trata, dentre outros aspectos, dos caminhos legais para o cumprimento dessas determinações do Código Florestal em áreas urbanas.

7.1.3 Determinação de medidas preventivas de enchentes

A partir da avaliação do sistema em estudo, a definição de suas restrições ambientais, exigências legais e do apoio da revisão bibliográfica sobre as medidas preventivas de enchentes usualmente aplicadas, foram definidas medidas que pudessem ser espacializadas na bacia em estudo, tais como:

- Arborização urbana – essa medida determinou que 1/3 da área correspondente a ruas e calçadas fosse considerada como áreas verdes⁵⁶;
- Manutenção das APPs ao longo dos corpos d'água, lagoas e nascentes - faixa de 30 m, 50m e 50m, respectivamente, como determina o Código Florestal;
- Aumento das áreas permeáveis nas áreas públicas dos loteamentos e sua conexão às APPs – essa medida determinou que 1/3 das áreas públicas dos novos loteamentos fossem consideradas áreas verdes.
- Aplicação da Reserva Legal – essa medida determinou que fosse preservada e destinada a áreas verdes florestais 20% de toda a zona rural e 20% das áreas dentro do perímetro urbano ainda não loteadas.

Não foram determinadas medidas de controle dentro do lote, como aumento da área permeável, por ser considerado uma medida de difícil controle e fiscalização por parte do poder público. Assim considerou-se a aplicação da porcentagem de 5% de área verde do total da área dos lotes, em todos os cenários, conforme determina a Lei de Edificações⁵⁷.

7.1.4 Proposição de Cenários de Uso e Ocupação do Solo

Considerações sobre o Projeto de Lei do Plano Diretor de São Carlos

⁵⁶ Em trabalho realizado por Tassi (2002), na Bacia do Arroio Areia, município de Porto Alegre, para avaliar o impacto causado pela impermeabilização das ruas sobre o sistema de drenagem, foram feitas simulações considerando a bacia em estágios anteriores à urbanização e posteriores de impermeabilização total de ruas e calçadas. Com relação à vazão de pré-urbanização, a impermeabilização somente de ruas e calçadas (correspondente a 16% da área total da bacia em estudo), provocou um acréscimo médio de 3,7 vezes na vazão de pico escoada no estágio anterior. TASSI, R. (2002). *Efeitos dos Micro-reservatórios no lote sobre a Macrodrenagem Urbana*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁵⁷Lei Municipal nº. 6910 de 10/03/1972, artigo 20.

A formulação de alguns cenários considerou as seguintes determinações estabelecidas pelo Plano Diretor: o Macrozoneamento do município, que divide o território em zonas rurais e zonas urbanas, e a delimitação da Área de Especial Interesse Ambiental que incide sobre a bacia em estudo.

Do macrozoneamento urbano⁵⁸, coincidem com a área da bacia as seguintes zonas:

- Zona 1: Ocupação Induzida;
- Zona 2: Ocupação Condicionada e
- Zona 3B: Recuperação e ocupação Controlada.

Do macrozoneamento rural⁵⁹, coincidem com a área da bacia as seguintes zonas:

- Zona 5A: Proteção e Ocupação Restrita
- Zona 5B: Agrossilvopastoril
- Zona 6: Produção Agrícola Familiar

A delimitação dessas zonas na bacia é ilustrada na figura 7.24.

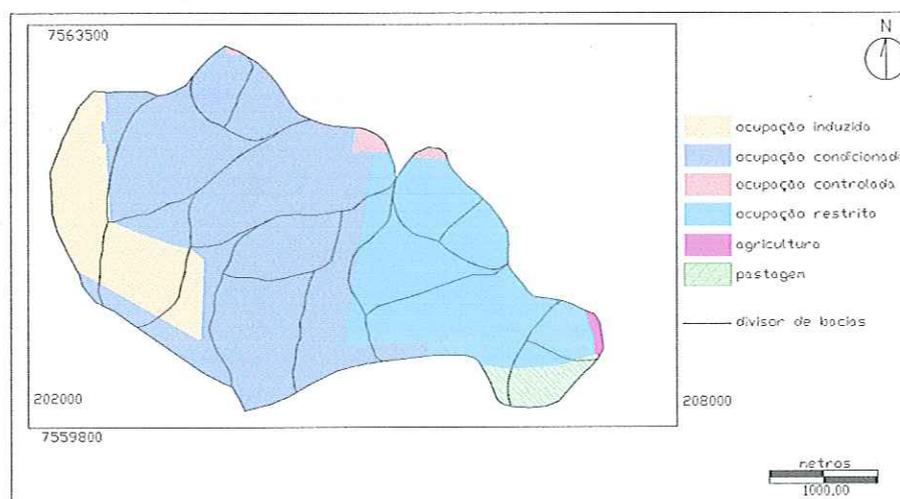


Figura 7.24 – Zoneamento da bacia de acordo com o Projeto de lei do Plano Diretor de São Carlos.
Fonte: Adaptado de PMSC, 2004.

⁵⁸ A Macrozona Urbana é composta por áreas dotadas de infraestruturas, serviços e equipamentos públicos e comunitários, apresentando maior densidade construtiva e populacional que requerem uma qualificação urbanística e em condições de atrair investimentos imobiliários privados (art. 22, PMSC, 2004b).

⁵⁹ A Macrozona de Uso Multifuncional Rural é composta por áreas de uso agrícola, extrativista ou pecuário, com áreas significativas de vegetação natural, condições de permeabilidade próximas aos índices naturais, por áreas de preservação ambiental formadas por reservas florestais, parques e reservas biológicas, bem como por áreas de usos não agrícolas, como chácaras de recreio, lazer, turismo, fazendas históricas, indústrias e sedes de distritos (art. 23, PMSC, 2004b).

Para o parcelamento de novos loteamentos em cada uma das zonas descritas acima, incidem coeficientes reguladores do uso do solo no lote, a saber:

- CO - Coeficiente de ocupação;
- CP - Coeficiente de permeabilidade;
- CCV - Coeficiente de cobertura vegetal.

A tabela a seguir informa os valores desses coeficientes relativos à ocupação nos lotes, para cada uma das zonas da bacia. No entanto, esse estudo não considera a aplicação dos valores de CP e CCV, nas áreas a serem parceladas dentro do perímetro urbano, uma vez que a aplicação dos coeficientes de permeabilidade em cada lote é de difícil controle pelo poder público.

Tabela 7.1: Coeficientes para ocupação do lote nas zonas urbana e rural. Fonte: (PMSC, 2004).

	Zona Urbana			Zona Rural		
	Ocupação. induzida	Ocupação Condicionada	Ocupação Controlada	Ocupação Restrita	Pastagem	Agricultura
CO	70%	70%	50 a 70%	30%	não específica	não específica
CP	15%	15%	20 a 40%	70%	não específica	não específica
CCV	não específica	não específica	10%	40%	não específica	não específica

Por outro lado, sobre os espaços livres de uso público do loteamento, destinados a sistemas de circulação, áreas de uso institucional e lazer, não incide nenhuma restrição quanto ao coeficiente de permeabilidade ou de cobertura vegetal das mesmas, ficando à mercê do loteador manter ou não áreas permeáveis nesses espaços. Vale ressaltar que, embora seja possível a impermeabilização completa das áreas públicas, o presente estudo considerou para todos os cenários sem aplicação de medidas, uma média de área verde equivalente a 15% do total das áreas públicas destinadas a lazer e uso institucional dos loteamentos.

Com relação à porcentagem da gleba destinada às áreas públicas, O Projeto de Lei do Plano Diretor de São Carlos determina que da área total a ser loteada, 10% seja destinada às áreas de lazer, 8% para uso institucional e não específica a porcentagem de área para circulação. Essas definições valem para todas as zonas passíveis de parcelamento.



A previsão de áreas públicas é determinada, primeiramente, em âmbito federal, pela lei de Parcelamento do Solo Urbano⁶⁰, no art. 4º, que trata dos Requisitos Urbanísticos para Loteamento, onde se estabelece que: *"as áreas de uso público devem ser proporcionais à densidade de ocupação prevista pelo plano diretor ou aprovada por lei municipal para a respectiva zona"*. Entretanto, a redação original da lei previa a reserva para esse fim de não menos que 35% da gleba, quando destinada a loteamento de uso habitacional, mas essa norma não vige mais, passando a valer então as determinações dadas por legislação municipal.

Diante dessas observações, esse trabalho considerou a partir de cálculos de média de área destinada à circulação na cidade já consolidada, um total de 16% para ruas, que somados aos 18% referentes aos usos institucional e lazer totaliza 34%, ou seja, muito próximo da porcentagem que a lei Lehman exigia antes de ser alterada.

A aplicação dos referidos coeficientes (CP e CCV) só foi considerada possível de ser implementada na zona rural 5A, onde o Plano Diretor permite o parcelamento para chácaras de recreio, apenas sob outorga onerosa de alteração do uso do solo⁶¹, pois determina para essa zona a manutenção da integridade ambiental, por abranger área de manancial e se localizar próxima a APA Corumbataí.

7.1.5 Gênese dos cenários

Primeiramente foram definidas algumas condições de ocupação do solo na bacia como base para a formulação dos cenários e avaliação posterior das medidas de controle:

–Condição 1: Bacia em condições naturais e anterior a ocupação urbana, onde toda a área é ocupada por cerrado, a vegetação nativa da região de São Carlos.

–Condição 2: Urbanização atual, com ocupação urbana parcial, apresentando um sistema bastante alterado em relação a situação anterior, com alto passivo ambiental.

⁶⁰ Lei 6.766/79, alterada parcialmente pela lei 9.785/99

⁶¹ Seção II, artigo 45 (PMSC, 2004b)

–Condição 3: Expansão da urbanização na bacia até o limite do perímetro urbano respeitando-se as determinações do atual Projeto de lei do Plano Diretor Urbano.

–Condição 4: Expansão da urbanização para toda a bacia seguindo o padrão atual de ocupação e sem aplicar as determinações do Plano Diretor Urbano.

–Condição 5a: Planejamento prévio desde o início da ocupação urbana e limites de expansão de acordo com as determinações do atual Projeto de lei do Plano Diretor Urbano. É uma condição hipotética, pois a bacia já foi parcialmente ocupada.

–Condição 5b: Planejamento prévio desde o início da ocupação urbana e urbanização de toda a bacia. Também é uma condição hipotética.

A duas primeiras condições implicam na formulação de cenários de referência (ou de base), por remeter a uma situação da bacia no passado (condição 1) e a outra à situação presente (condição 2).

Já as demais condições implicam na formulação de cenários futuros (ou de intervenção), sendo que as condições 3 e 4 constituem futuros possíveis e as condições 5a e 5b implicam em futuro hipotético, uma vez que elas não supõem uma continuidade da ocupação a partir do ponto atual, mas uma planejamento prévio em toda a bacia. Essas duas podem ser consideradas situações ideais, uma vez que possibilitam aplicar as medidas preventivas de enchentes, contempladas nesse estudo, na totalidade da bacia.

Para facilitar a avaliação do desempenho do conjunto das medidas não-estruturais aplicadas na bacia a partir da atual situação (situação 2) foram gerados 2 cenários alternativos relacionados às situações 3 e 4: um cenário com aplicação de medidas não estruturais e um cenário sem aplicação dessas medidas.

As condições 5a e 5b (futuro hipotético) implicam, necessariamente, no uso de medidas não-estruturais previamente a expansão urbana, portanto não geraram cenários sem aplicação de tais medidas.

Os cenários resultantes das condições descritas são apresentados na tabela 7.2.

Tabela 7.2: cenários gerados pelas diferentes condições de ocupação do solo.

Cenários ⁶²	Descrição
Cenário 1	Condição 1
Cenário 2	Condição 2
Cenário 3a	Condição 3
Cenário 3b	Condição 4
Cenário 4a	Condição 3 e medidas não-estruturais
Cenário 4b	Condição 4 e medidas não-estruturais
Cenário 5a	Condição 5a e medidas não-estruturais
Cenário 5b	Condição 5b e medidas não-estruturais

Os cenários 1 e 2 são de referencia (ou de base); os cenários 3 ,4 e 5 são futuros, dos quais os cenários 3a e 3b são tendenciais e os cenários 4a, 4b, 5a e 5b são de intervenção (planejamento da drenagem).

É imprescindível a formulação dos cenários de referência (anterior à ocupação e atual) para se propor e avaliar cenários futuros, que nesse caso, significa verificar, através de simulações em modelo hidrológico, a sensibilidade da variação de vazão nos cenários de base, mediante alterações na taxa de permeabilidade, ou seja, verificar as respostas do escoamento superficial nos futuros possíveis e hipotéticos, com ou sem planejamento.

7.1.6 Caracterização e quantificação do uso do solo nos cenários

Cenários de Referência:

Cenário 1:

A espacialização do uso do solo na bacia, para o cenário de pré – urbanização é ilustrada na figura 7.25:

⁶² Os cenários apresentados estão no anexo.

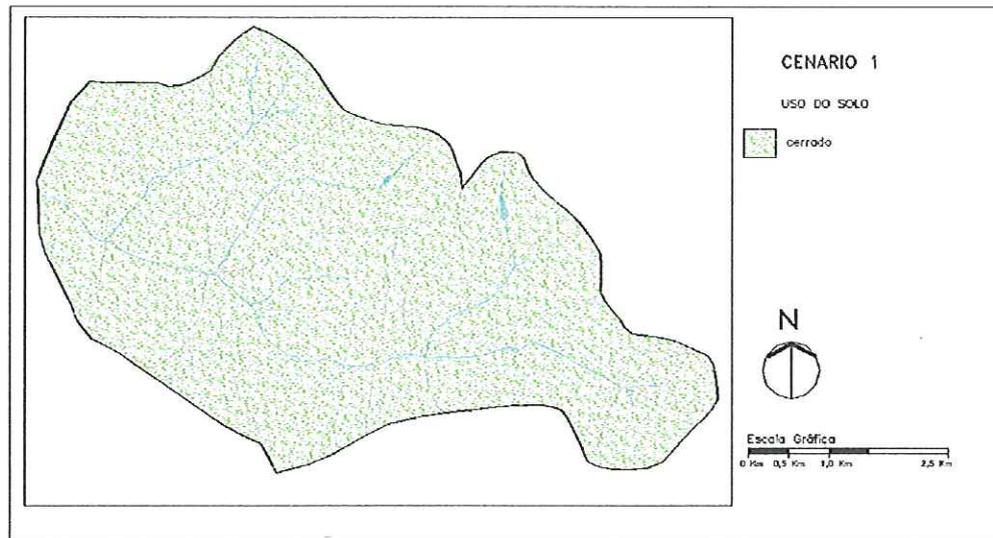


Figura 7.25: Cenário 1

Cenário 2:

A espacialização das classes de uso do solo na bacia, para o cenário atual é ilustrada na figura 7.26 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.27.

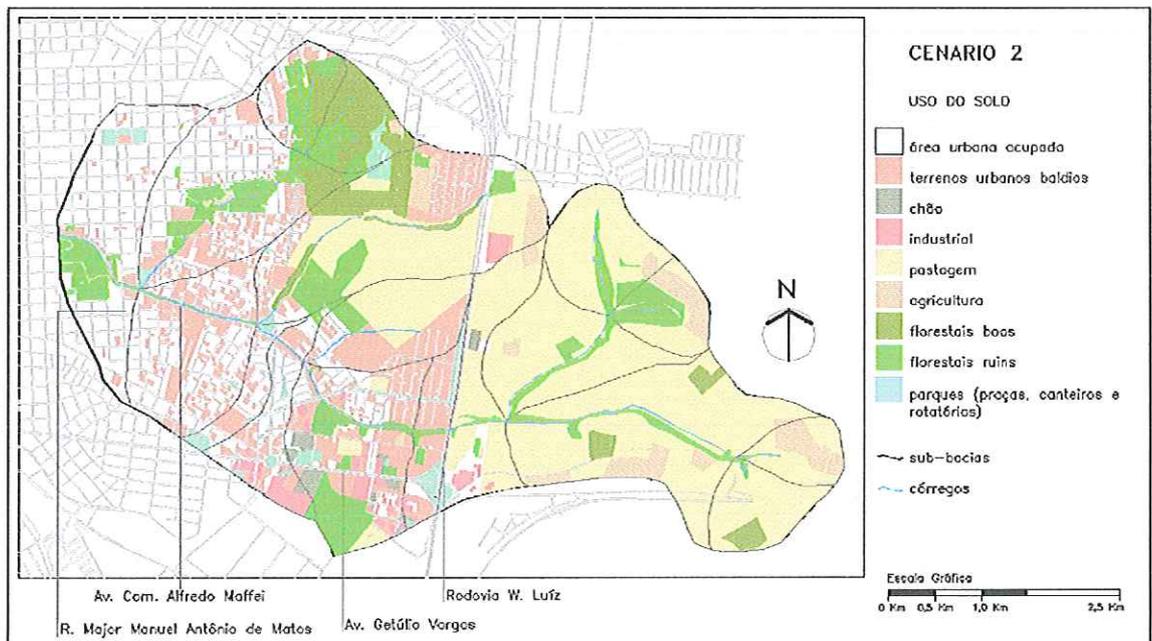


Figura 7.26: Cenário 2

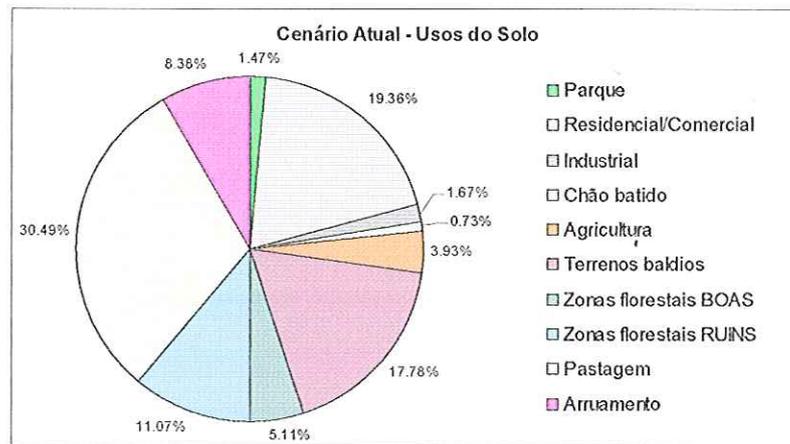


Figura 7.27: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário2

Cenários tendenciais:

Cenário 3a:

A ocupação urbana passa a ser guiada pelas determinações do Plano Diretor Urbano:

- O limite do perímetro urbano é respeitado: as áreas rurais são mantidos na situação atual, exceto a área corresponde à zona 5a, que é parcelada para chácaras de recreio.
- A área de Especial Interesse Ambiental é preservada, considerando que ela coincide com parte das APPs ao longo dos Córregos Lazarini, Invernada e o próprio Gregório.
- As determinações do Código Florestal, referentes as APPs de rios, lagoas e nascentes são aplicadas em toda a bacia, exceto para as áreas já invadidas atualmente.
- A área urbana é adensada com a ocupação dos lotes atualmente vazios, os quais são ocupados da seguinte forma: 5% para áreas permeáveis verdes e 95% para áreas impermeáveis.
- As áreas destinadas aos novos loteamentos situados nas Zona de Ocupação Condicionada (Zona Urbana 2), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do

solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas públicas (lazer e institucional), sendo 3% para áreas permeáveis verdes e 15% para áreas impermeáveis; 16% para ruas e o restante, 66%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

– As áreas destinadas aos novos loteamentos situadas nas Zona de Ocupação Restrita (Zona Rural 5a), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas Públicas (lazer e institucional), sendo 3% para áreas permeáveis e 15% para áreas impermeáveis; e o restante, 82%, para chácaras de recreio, sendo 25% área impermeável e 57% área verde.

– As áreas situadas na Zona Agrossilvopastoril (Zona Rural 5b), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 100% à pastagem.

– As áreas situadas na Zona Agrícola Familiar (Zona Rural 6), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 100% à agricultura.

– Nas demais zonas não ocorrem novos loteamentos.

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo pode ser vista na figura 7.29 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.28.

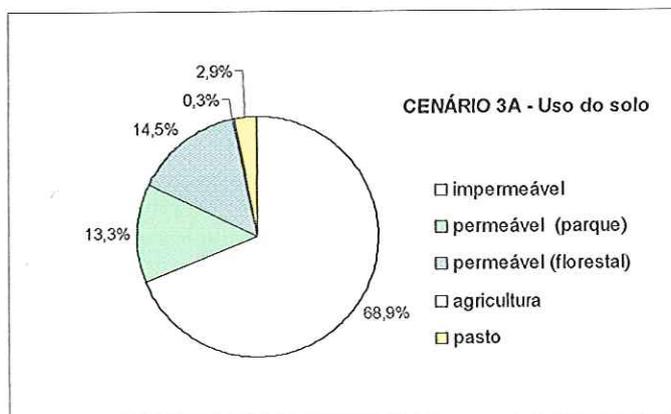


Figura 7.28: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 3ª

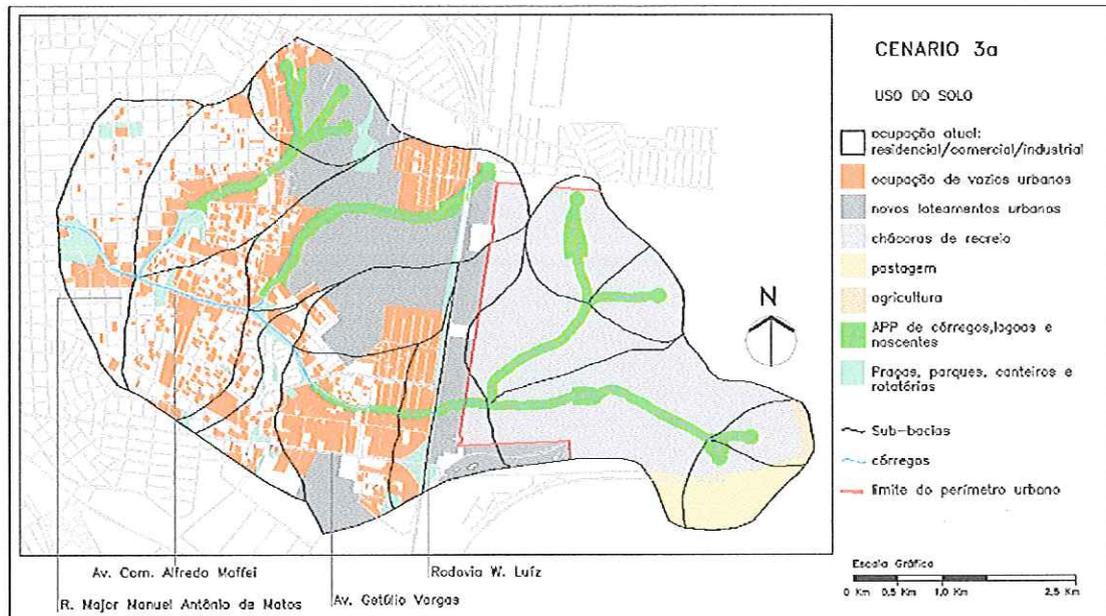


Figura 7.29: Cenário 3a

Cenário 3b:

- A expansão urbana segue as tendências atuais de ocupação do solo e atinge toda a bacia, inclusive a zona rural.
- As determinações do Código Florestal, referentes às APPs de rios, lagoas e nascentes são aplicadas em toda a bacia, exceto para as áreas já invadidas atualmente.
- A área urbana é adensada com a ocupação dos lotes atualmente vazios, os quais são ocupados da seguinte forma: 5% para áreas permeáveis verdes e 95% para áreas impermeáveis.
- As demais áreas, que são ocupadas por novos loteamentos, tanto no perímetro urbano atual, quanto na zona rural, descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas públicas (lazer e institucional), sendo 3% para áreas permeáveis verdes e 15% para áreas impermeáveis; 16% para ruas e o restante, 66%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo pode ser vista na figura 7.30 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.31.

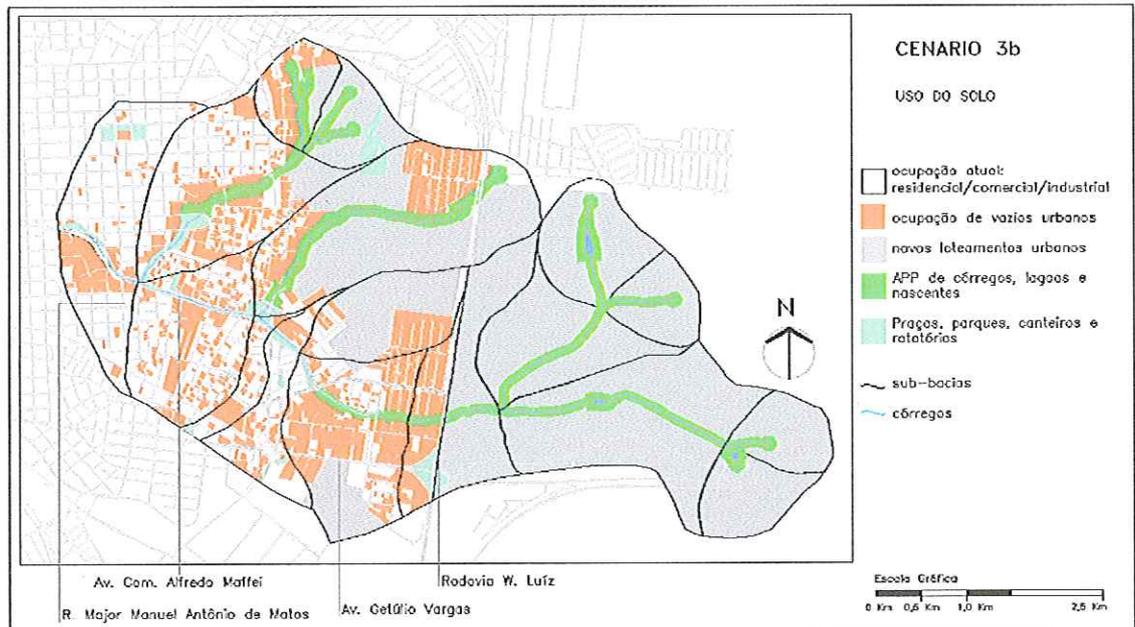


Figura 7.30: Cenário 3b

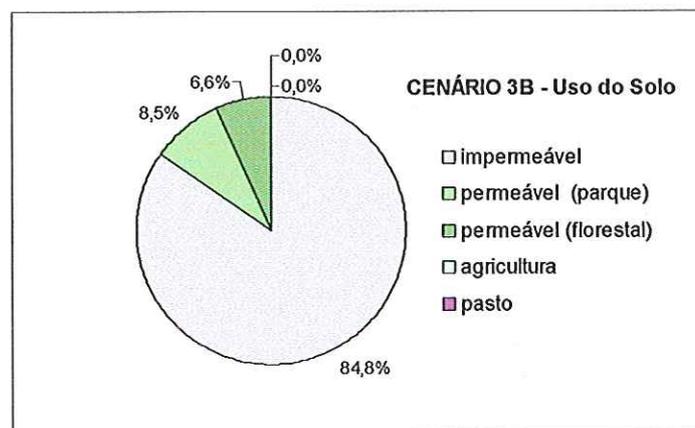


Figura 7.31: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 3b

Cenários de Intervenção:

Cenário 4a:

A ocupação urbana passa a ser guiada pelo uso de medidas não-estruturais associado às determinações do Plano Diretor Urbano:

–O limite do perímetro urbano é respeitado: as áreas rurais são mantidos na situação atual, exceto a área corresponde à zona 5a, que é parcelada para chácaras de recreio.

–A área de Especial Interesse Ambiental é preservada, considerando que ela coincide com parte das APPs ao longo dos Córregos Lazarini, Invernada e o próprio Gregório.

– As determinações do Código Florestal, referentes as APPs de rios, lagoas e nascentes são aplicadas em toda a bacia, exceto para as áreas já invadidas atualmente.

–A área urbana é adensada com a ocupação dos lotes atualmente vazios, os quais são ocupados da seguinte forma: 5% para áreas permeáveis verdes e 95% para áreas impermeáveis.

–Toda área ocupada pelo sistema de circulação (ruas e calçadas) já existente é arborizada, cujas porcentagens de área permeável e impermeável passam a ser 36% e 64%, respectivamente.

–As áreas destinadas aos novos loteamentos situados nas Zona de Ocupação Condicionada (Zona Urbana 2), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis verdes e 12% para áreas impermeáveis; 12% para ruas arborizadas, sendo 4% para áreas permeáveis verdes e 8% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 50%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

–As áreas destinadas aos novos loteamentos situadas nas Zona de Ocupação Restrita (Zona Rural 5a), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas Públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis e 12% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 62%, para chácaras de recreio, sendo 19% área impermeável e 43% área verde.

–As áreas situadas nas Zona Agrossilvopastoril (Zona Rural 5b), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 20% à Reserva Legal e 80% à pastagem.

–As áreas situadas nas Zona Agrícola Familiar (Zona Rural 6), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 20% à Reserva Legal e 80% à agricultura.

–Nas demais zonas não ocorrem novos loteamentos

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo pode ser vista na figura 7.32 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.33.

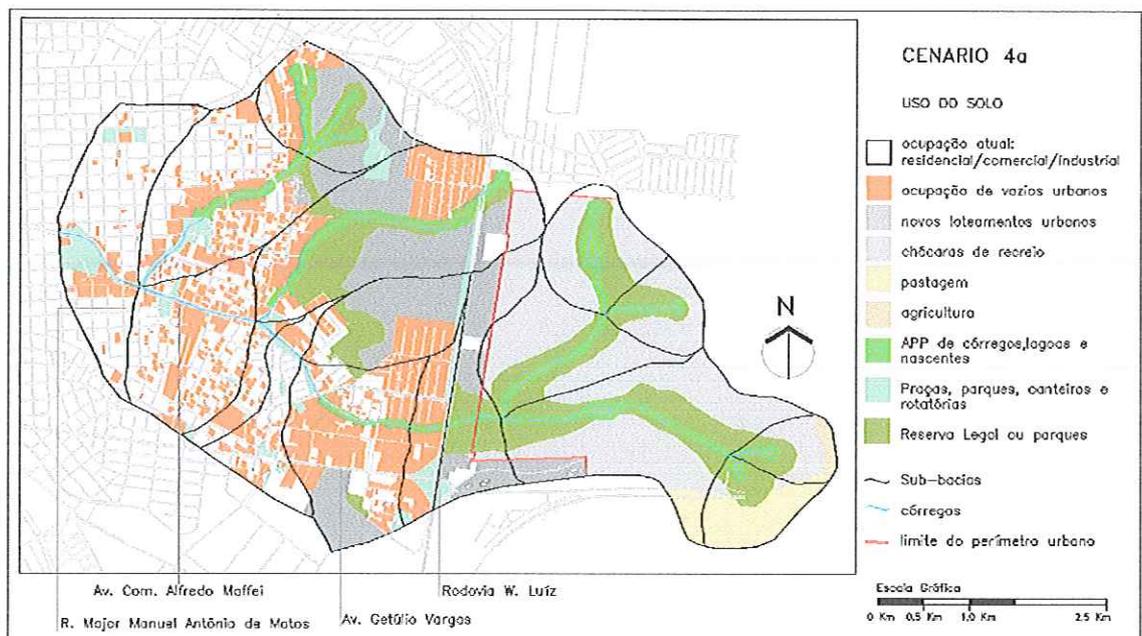
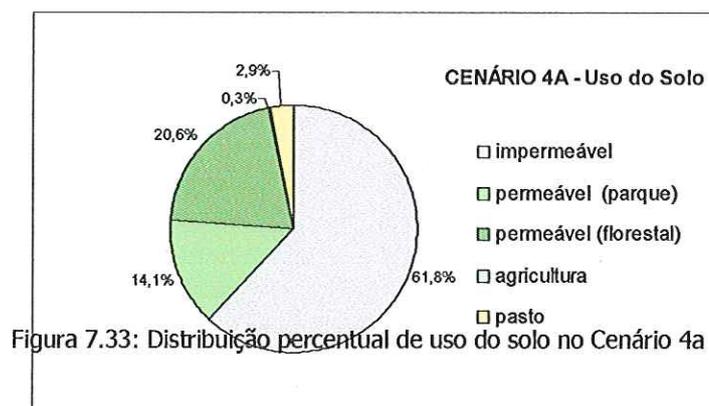


Figura 7.32: Cenário 4a



Cenário 4b:

A ocupação urbana passa a ser guiada pelo uso de medidas não-estruturais e sem a implementação das diretrizes do Plano Diretor Urbano:

- A expansão urbana atinge toda a bacia, inclusive a zona rural.
- As determinações do Código Florestal, referentes as APPs de rios, lagoas e nascentes são aplicadas em toda a bacia, exceto para as áreas já invadidas atualmente.
- A área urbana é adensada com a ocupação dos lotes atualmente vazios, os quais são ocupados da seguinte forma: 5% para áreas permeáveis verdes e 95% para áreas impermeáveis.
- Toda área ocupada pelo sistema de circulação (ruas e calçadas) já existente é arborizada, cujas porcentagens de área permeável e impermeável passam a ser 36% e 64%, respectivamente.
- As demais áreas, que são ocupadas por novos loteamentos, tanto no perímetro urbano atual, quanto na zona rural, descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas Públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis verdes e 12% para áreas impermeáveis; 12% para ruas arborizadas, sendo 4% para áreas permeáveis verdes e 8% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 50%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo pode ser vista na figura 7.34 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.35.



Figura 7.34: Cenário 4b

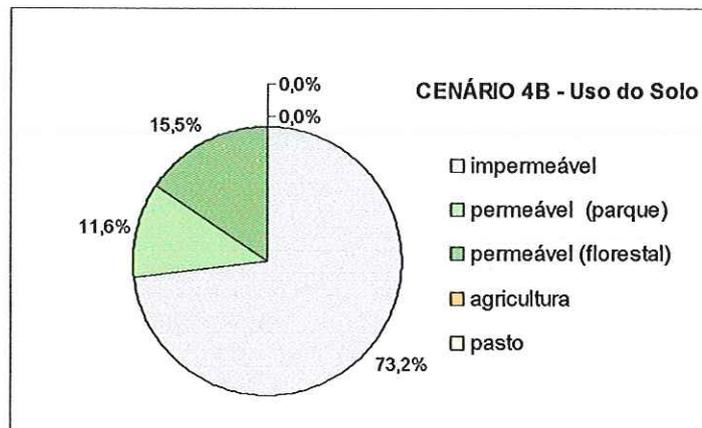


Figura 7.35: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 4b

Cenário 5a:

Nesse cenário, a ocupação urbana, desde o início, é guiada pelo uso de medidas não-estruturais associadas às determinações do atual Plano Diretor Urbano:

–O limite do perímetro urbano é o considerado pelo Plano Diretor, sendo assim, as áreas rurais são mantidos na situação atual, exceto a área corresponde à zona 5a, que é parcelada para chácaras de recreio.

– As determinações do Código Florestal, referentes as APPs de rios, lagoas e nascentes e a averbação da Reserva Legal são aplicadas em toda a bacia.

–A localização da Reserva Legal considera as áreas com vulnerabilidade ambiental na bacia.

–As áreas destinadas a loteamentos situados na Macrozona Urbana (Zonas 1, 2 e 3a), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis verdes e 12% para áreas impermeáveis; 12% para ruas arborizadas, sendo 4% para áreas permeáveis verdes e 8% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 50%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

–As áreas destinadas aos novos loteamentos situadas nas Zona de Ocupação Restrita (Zona Rural 5a), descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas Públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis e 12% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 62%, para chácaras de recreio, sendo 19% área impermeável e 43% área verde.

–As áreas situadas na Zona Agrossilvopastoril (Zona Rural 5b), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 20% à Reserva Legal e 80% à pastagem.

–As áreas situadas na Zona Agrícola Familiar (Zona Rural 6), descontadas as áreas de preservação permanente, foram destinadas 20% à Reserva Legal e 80% à agricultura.

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo podem ser vistas na figura 7.36 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.37.

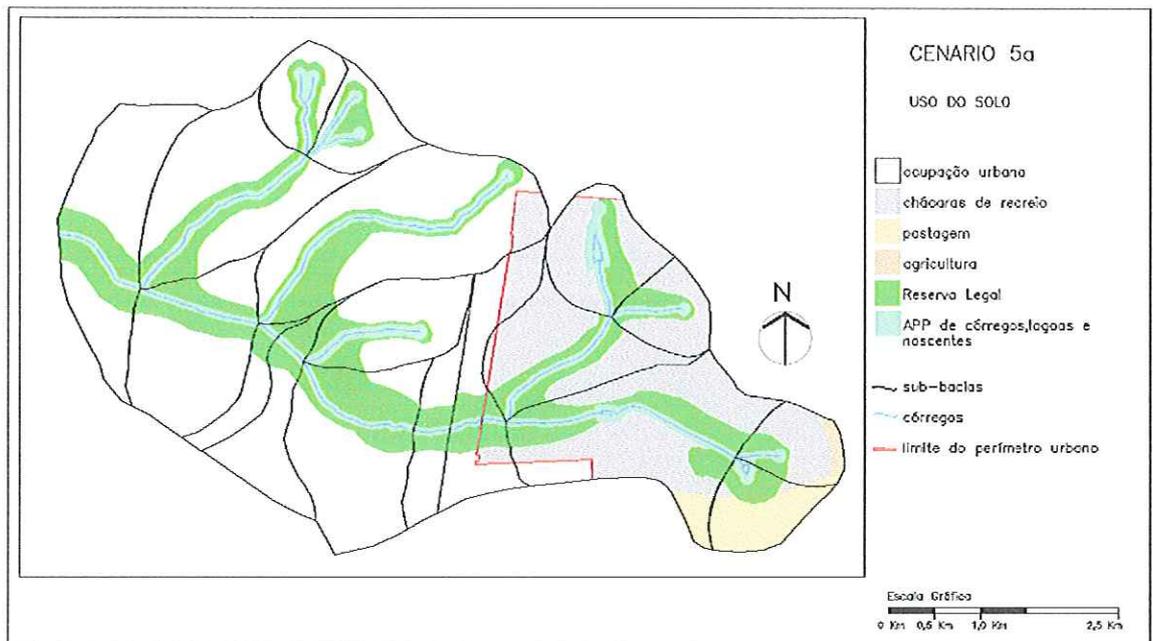


Figura 7.36: Cenário 5a

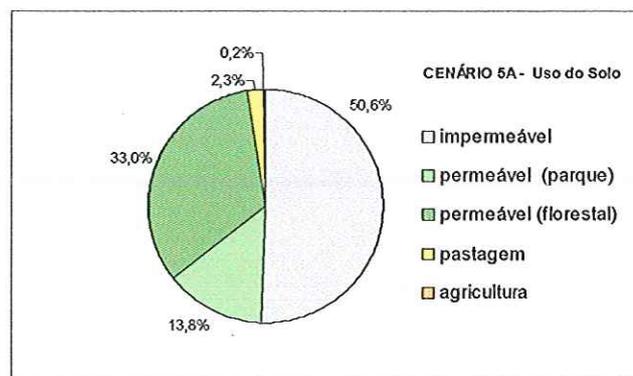


Figura 7.37: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 5a

Cenário 5b:

Nesse cenário, a ocupação urbana, desde o início, foi guiada pelo uso de medidas não-estruturais e sem a implementação das diretrizes do Plano Diretor Urbano:

- A expansão urbana atinge toda a bacia, inclusive a zona rural.
- As determinações do Código Florestal, referentes as APPs de rios, lagoas e nascentes e a averbação da Reserva Legal são aplicadas em toda a bacia.
- A localização da Reserva Legal considera as áreas com vulnerabilidade ambiental na bacia.

–As demais áreas, que são ocupadas por loteamentos em todo o perímetro da bacia, descontadas as áreas de preservação permanente, quando existem, têm suas categorias de uso do solo distribuídas da seguinte forma: 18% para Áreas Públicas (lazer e institucional), sendo 6% para áreas permeáveis verdes e 12% para áreas impermeáveis; 12% para ruas arborizadas, sendo 4% para áreas permeáveis verdes e 8% para áreas impermeáveis; 20% para Reserva Legal; e o restante, 50%, para lotes, da qual, 5% é área verde e 95%, área impermeável.

A espacialização dessas diretrizes para o uso do solo na bacia em estudo podem ser vistas na figura 7.38 e as porcentagens relativas às classes de uso do solo resulta na distribuição percentual apresentada na figura 7.39.

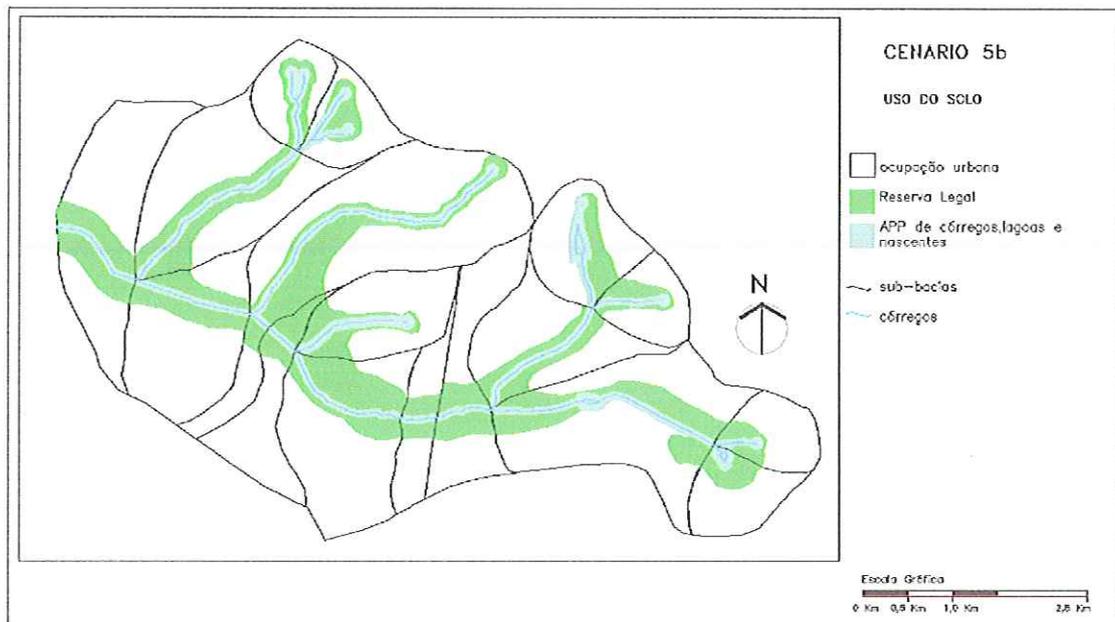


Figura 7.38: Cenário 5b

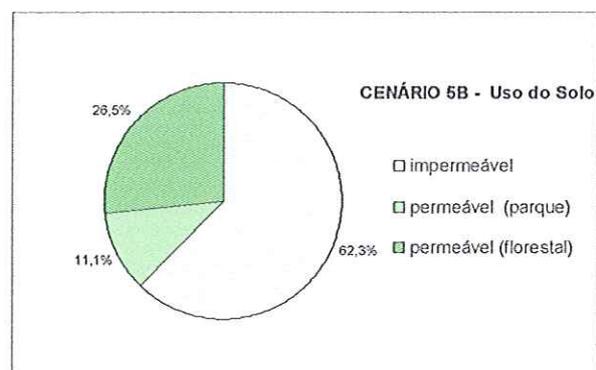


Figura 7.39: Distribuição percentual de uso do solo no Cenário 5b

7.1.7 Considerações sobre o uso do solo nos cenários

Cenário atual X cenários tendenciais (3a e 3b):

A análise conjunta da distribuição percentual apresentada nos gráficos e da espacialização dos usos do solo referentes aos cenários tendenciais(3a e 3b), possibilita afirmar sobre mudanças drásticas nas categorias de uso do solo nos dois cenários considerados. As mudanças ocorrem principalmente no acréscimo expressivo da impermeabilização resultante da ocupação residencial/comercial, sobre antigas áreas de baldios, chão, e principalmente sobre as áreas de agricultura e pastagens. Essas últimas, que representavam a maior parcela das áreas permeáveis no cenário atual (34, 5%) tiveram suas áreas reduzidas em 90%, no cenário 3a e 100%, no cenário 3b. Já as áreas verdes, classificadas como florestais boas e ruins, ocorrem, em grande parte, contíguas aos córregos e têm suas porcentagens praticamente mantidas no cenário 3a (devido a aplicação do Coeficiente de Cobertura Vegetal na Zona Rural de Proteção e Ocupação Restrita), mas com redução de 50% no cenário 3b. Vale salientar que a manutenção das APPs de rios, lagoas e nascentes impediu que as áreas verdes florestais fossem reduzidas ainda mais, embora ainda seja uma perspectiva otimista a aplicação das determinações do Código Florestal nesses cenários tendenciais.

As áreas destinadas a parques sofreram aumento nos dois referidos cenários, o que se explica pelo acréscimo de loteamentos na bacia, com suas respectivas áreas verdes nas áreas públicas.

A mudança de usos mais radical ocorre no cenário 3a, onde praticamente há uma acentuada inversão das porcentagens de áreas permeáveis e impermeáveis da área total da bacia: enquanto no cenário atual, essas áreas representam 71% e 29%, respectivamente, no cenário tendencial 3a, elas passam a valer 16% e 84%, respectivamente. No cenário 3b, não é muito diferente, pois as referidas porcentagens também invertem, passando a valer 21% e 69%, respectivamente. Tais valores são bastante negativos sob o ponto de vista da qualidade ambiental urbana e, especificamente, sobre a drenagem das águas pluviais.

É importante ressaltar que essa taxa de impermeabilização tão elevada pode gerar efeitos ainda piores, quando se admite que a ocupação do solo nesses cenários avança também sobre áreas ambientalmente frágeis.

Esses números demonstram o quanto é importante a adoção de medidas preventivas que representem restrições a ocupação desordenada e até mesmo com a aplicação do zoneamento do atual Plano Diretor não é possível atingir níveis razoáveis de permeabilidade do solo na bacia.

Cenários tendenciais (3a e 3b) X cenários de intervenção (4a, 4b):

A análise conjunta da distribuição percentual apresentada nos gráficos e da espacialização dos usos do solo referentes aos cenários de intervenção 4a e 4b demonstra o quanto a aplicação de medidas não-estruturais na micro e macro-drenagem pode representar a manutenção de um sistema de áreas verdes que amortecem os impactos negativos da urbanização de toda a bacia ou grande parte dela. Nesses cenários de intervenção, houve aumento expressivo das áreas de parques, em relação aos cenários tendenciais e ao atual, devido principalmente a destinação de 1/3 das áreas públicas dos novos loteamentos para esse fim, de 20% de áreas não urbanizadas para parques, além da arborização de todas as ruas da bacia (figuras 7.41a e 7.41b).

Do ponto de vista das áreas verdes, os resultados são consideráveis quando se compara os cenários de intervenção com os tendenciais, visto o aumento das áreas verdes daqueles em relação a esses: 86% no 4a e 38% no 4b (a figura 7.40 mostra o aumento das áreas verdes públicas no cenário 4a em relação ao 3a).

No entanto, apesar dos resultados positivos quando se compara os cenários de intervenção com os tendenciais, ao se verificar isoladamente o cenário de intervenção 4b, é possível constatar que a ocupação urbana total da bacia, mesmo com aplicação das medidas não-estruturais a partir do atual estágio de ocupação, gera um aumento significativo de área impermeável, que passa de 34,5% no cenário atual, para 71% nesse cenário de intervenção.

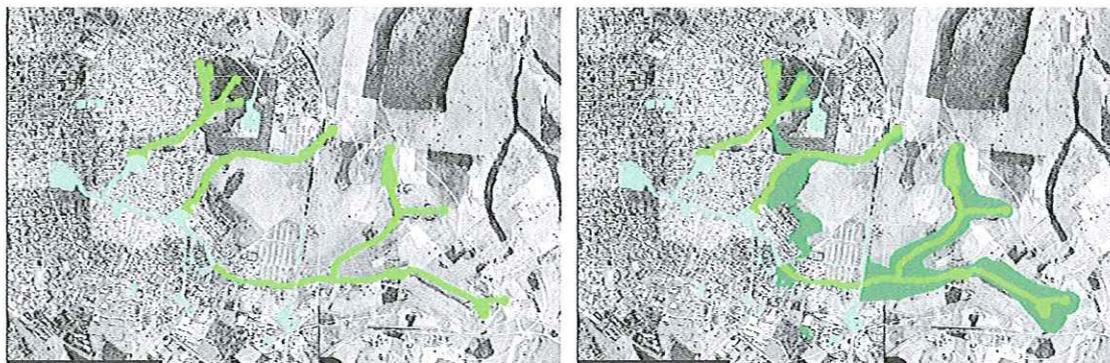


Figura 7.40: Áreas verdes no Cenário 3a (à esq.) e no Cenário 4a (à dir.)



Figura 7.41a: Vista panorâmica das áreas verdes do Cenário Atual (à esq.) e do Cenário 4a/4b (à dir.)



Figura 7.41b: Vista panorâmica das áreas verdes do Cenário atual (à esq.) e do Cenário 4a/4b (à dir.)

Cenários de intervenção (5a e 5b):

Esses cenários hipotéticos representam a resposta da bacia diante da aplicação prévia à ocupação urbana das restrições definidas pela legislação ambiental, conciliadas com as restrições do ponto de vista ambiental. É importante ressaltar que esses cenários

demonstram a importância da manutenção das reservas legais, das áreas de preservação permanente e da seleção de áreas para parques desde os primeiros estágios do processo de ocupação urbana. O cenário 5b é considerado o mais positivo, pela manutenção de praticamente 50% da área total da bacia como áreas permeáveis, sendo a maior parte, 47%, destinada a parques e áreas florestais.

7.1.8 Simulação hidrológica dos Cenários

A proposta de simulação dos diferentes cenários de urbanização na bacia advém da necessidade de verificar o comportamento do escoamento na bacia em situações alternativas de futuro, de forma a prever os impactos da ausência ou implementação do planejamento da drenagem urbana.

Com a finalidade de avaliar a influência das medidas não estruturais na prevenção de enchentes foram feitas simulações em modelo hidrológico para verificar a variação de vazão mediante alterações na forma de ocupação na bacia, que altera as taxa de permeabilidade, ou seja, os parâmetros de infiltração na bacia.

As simulações hidrológicas da bacia consideraram diferentes condições de permeabilidade do solo, dadas pelos cenários apresentados, desde a bacia no estado natural e anterior à ocupação (cenário 1) até a impermeabilização máxima possível (cenário 3b).

As medidas foram simuladas em duas situações: a primeira, com as medidas aplicadas de forma simultânea na bacia toda (4 cenários de intervenção); num segundo momento, foi simulada cada medida separadamente, mas para uma sub-bacia da área de estudo (sub-bacia 6), para se avaliar o desempenho de cada uma das medidas de forma isolada. As simulações dessa segunda situação servem de base para a proposição de um plano de uso e ocupação do solo para essa sub-bacia, supondo que ela estivesse em estado natural, onde se busca aplicar o conjunto das medidas não estruturas de drenagem no desenho ambiental urbano.

A partir das simulações de cada cenário, é possível avaliar o desempenho do conjunto das medidas (listadas no item 7.1.3) para definir a melhor resposta do escoamento superficial com a aplicação das mesmas. Assim, foram simulados os cenários de base

(1 e 2), os tendenciais (3a e 3b) e os cenários de intervenção (4a, 4b, 5a e 5b) para serem comparadas as respostas das simulações.

Detalhes completos da escolha do modelo hidrológico para simulação desses cenários, da metodologia de simulação hidrológica, considerando a entrada de dados no modelo, a determinação dos parâmetros (retenção e rugosidade), dos cálculos de vazão máxima suportados pelo canal e dos hidrogramas resultantes são encontrados no trabalho de Boldrin (2005).

Cada um dos cenários foi simulado para chuvas com período de retorno de 10, 25 e 50 anos, comuns em simulações de drenagem urbana, além de uma chuva real observada no dia 19 de Dezembro de 2004, que causou enchente na região do mercado municipal.

7.1.9 Avaliação dos resultados das simulações

A avaliação dos cenários parte da consideração das características de uso do solo para cada um deles, demonstrados e quantificados no item 7.1.6 e sua relação com os resultados obtidos nas simulações hidrológicas, cujos hidrogramas resultantes da simulação de cada um dos cenários para os 4 eventos considerados (tempo de retorno de 10, 25 e 50 anos e chuva de dez/2004) são apresentados a seguir, nas figuras 7.42, 7.43, 7.44 e 7.45.

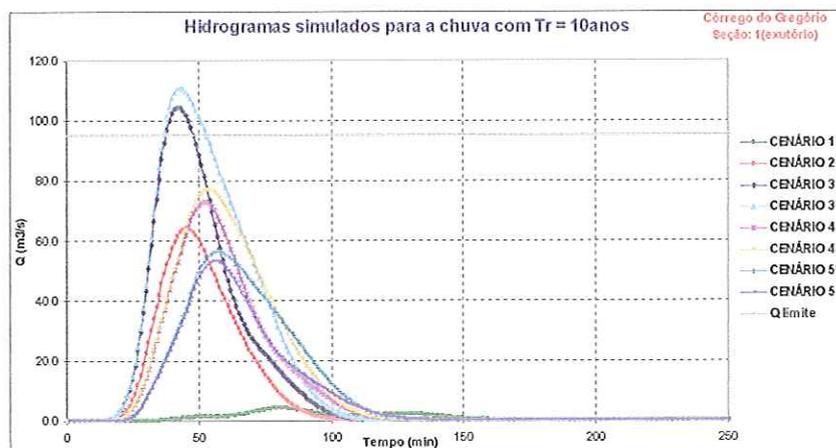


Figura 7.42: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 10$ anos. Fonte: BOLDRIN(2004).

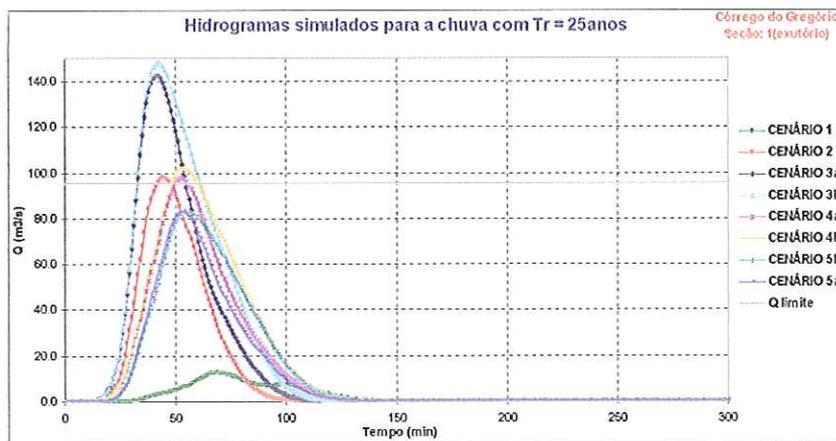


Figura 7.43: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 25$ anos. Fonte: BOLDRIN(2004).

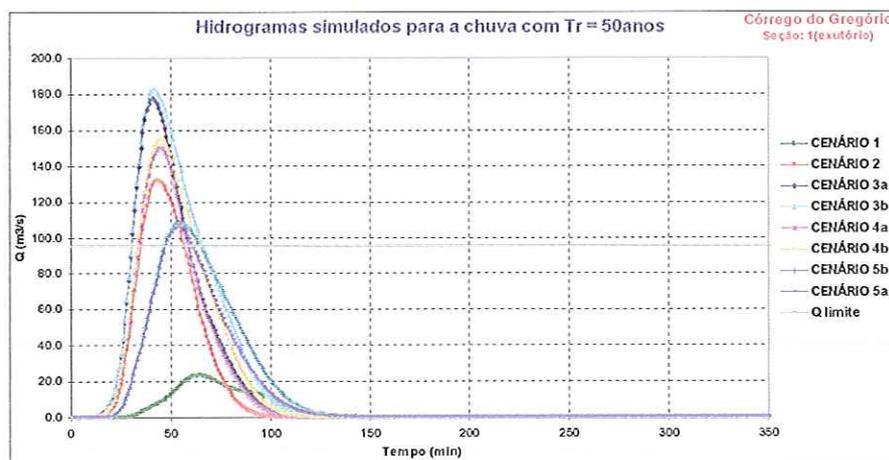


Figura 7.44: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva com $Tr = 50$ anos. Fonte: BOLDRIN(2004).

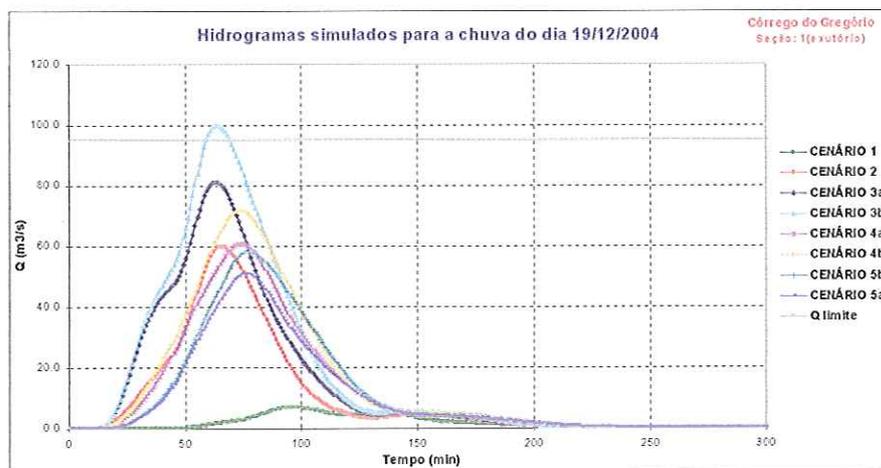


Figura 7.45: Hidrogramas resultantes da simulação dos diversos cenários, para chuva de dez/2004. Fonte: BOLDRIN(2004).

As simulações foram realizadas primeiramente considerando as atuais seções do canal, estrangulado em alguns pontos devido à canalização. No entanto, essa conformação resulta em picos de vazão, no ponto de controle, que não corresponde à vazão gerada na sub-bacia, o que se justifica pela retenção de parte do escoamento pluvial nos trechos canalizados, sob as travessias, que provocam remanso e transbordamento no trecho imediatamente anterior, impedindo que ele chegue mais rapidamente ao ponto de controle no final da sub-bacia. Dessa forma, a avaliação dos cenários foi feita a partir das simulações que consideram todo o córrego em condições naturais, sem travessias, para que se pudesse avaliar melhor os efeitos das medidas não estruturais.

Diante dos resultados das simulações, demonstrados nos hidrogramas acima, pode-se observar que:

Considerando todos os cenários simulados, para uma chuva de período de recorrência de 10 anos (figura 7.42), apenas os cenários tendencias (3a e 3b) ultrapassam a vazão limite do ponto de controle, além de atingir os maiores volumes de escoamento. Já os cenários de intervenção 4a e 4b apresentam menor volume escoado e atenuação na vazão de pico. Quanto aos resultados para os cenários hipotéticos 5a e 5b, cuja vazão máxima e volume escoado é menor que a do cenário atual, confirmam a importância do prévio planejamento do sistema de drenagem natural, principalmente quando se considera que tais cenários têm área urbanizada maior que a do cenário atual.

Alterações ocorridas nos volumes e vazões de pico em função da aplicação de medidas são observadas também nos hidrogramas resultantes de uma chuva de $tr = 25$ (figura 7.43), onde se verifica que apenas os cenários hipotéticos (5a e 5b) não ultrapassam o limite máximo suportado pelo canal. Embora atinjam vazões além do limite do canal, os cenários 4a e 4b causam impactos poucos expressivos, quando comparados com os altos picos de vazão atingidos pelos cenários 3a e, principalmente, o 3b. Isso mostra que a aplicação de medidas dá boas respostas e reduz o impacto que pode causar os cenários tendenciais 3a e 3b.

Considerando a chuva de $tr = 50$ (figura 7.44), todos os cenários onde foram aplicadas as medidas (4a, 4b, 5a e 5b) tiveram vazão de pico menor que a vazão do cenário atual, porém todas ultrapassam a capacidade limite do canal, por ser uma chuva de grande intensidade. No entanto, vale dizer que os cenários 5a e 5b, por permitirem reservar, em média, uma faixa média de 50m, em cada margem do córrego, diante da ocorrência de um evento extremo, o rio ocupa o seu leito maior, mas não são gerados

perdas materiais e danos ambientais nesses cenários, uma vez que a água transbordada estaria ocupando áreas de parques e reservas nos fundos de vale, sendo parcialmente absorvida.

Já nos demais cenários de intervenção, 4a e 4b, para a chuva de $tr=50$, as medidas aplicadas não possibilitaram a ampliação suficiente das APPs, então seria necessária a associação de medidas estruturais às não-estruturais já implantadas, como dispositivos de retenção e detenção, localizados nas áreas públicas dos loteamentos ou contíguas às áreas de preservação permanente e nas áreas de declividade acentuada, além do uso de pavimentos permeáveis.

Da observação dos hidrogramas dos cenários simulados para a chuva no dia 19 de Dezembro de 2004 (figura 7.45), que gerou inundação na região do Mercado Municipal de São Carlos, observa-se que a vazão de pico dos cenários de intervenção não ultrapassam o limite do canal, mas, quanto aos cenários tendenciais, ou chega bem próximo da capacidade de suporte do canal (cenário 3a) ou a ultrapassam (cenário 3b).

Diante dos resultados apresentados, pode-se dizer que, se seguidas somente as diretrizes do plano diretor é provável que a situação já crítica do sistema de drenagem nessa região piore ainda mais, principalmente quando se considera que expansão máxima permitida por essa lei ultrapassa a capacidade de suporte da drenagem nessa bacia, como pode ser vista nos hidrogramas referentes ao cenário 3a.

Nos aspectos que interferem no escoamento pluvial na bacia em estudo pode-se inferir que o Plano Diretor, por não estabelecer restrições que sejam maiores que as determinadas pelas leis de âmbito federal, não considera a influencia da ocupação urbana sobre o escoamento pluvial e não contempla aspectos de prevenção.

Considerando os hidrogramas em conjunto pode se dizer que o cenário 4a, de execução possível, caso o Plano Diretor de São Carlos venha a ser implementado revela uma direção para a tomada de decisão relacionada a ocupação do solo e o sistema de drenagem, que deverá, necessariamente, considerar a associação de medidas não-estruturais e práticas estruturais de controle na fonte, como reservatórios de detenção, pavimentos permeáveis, etc.

Os resultados gerados revelam que as medidas não-estruturais surtiram efeitos significativos na redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, nos volumes e nas vazões de pico principalmente nos cenários 5a e 5b, onde supõe o planejamento prévio da ocupação urbana. Nestes cenários hipotéticos, a aplicação de medidas não-estruturais adotadas em conjunto desde o início da urbanização, cujos critérios de ocupação foram determinados pelas restrições do meio, como proteção de áreas sensíveis ou com importante função hidrológica e ocupação de áreas aptas ao desenvolvimento, ao manter as características de drenagem natural apenas com o uso de medidas não estruturais, demonstra a tolerância da bacia à urbanização.

7.2 Aplicação de medidas não - estruturais no desenho urbano

Considerou-se necessário associar o uso dos critérios ambientais de desenho urbano às medidas não-estruturais de prevenção de enchentes para propor o planejamento de uma parte da bacia em estudo, escolhendo-se a sub-bacia 6, que corresponde à área de contribuição do Córrego Invernada, afluente do Córrego do Gregório. A partir da consideração das restrições do ponto de vista ambiental e de legislação para a bacia em estudo, demonstradas anteriormente no item 7.1.2, foi feito um zoneamento da área, contemplando áreas adequadas à ocupação e áreas destinadas à preservação permanente, à reserva legal e ao uso institucional e lazer (figura 7.46).

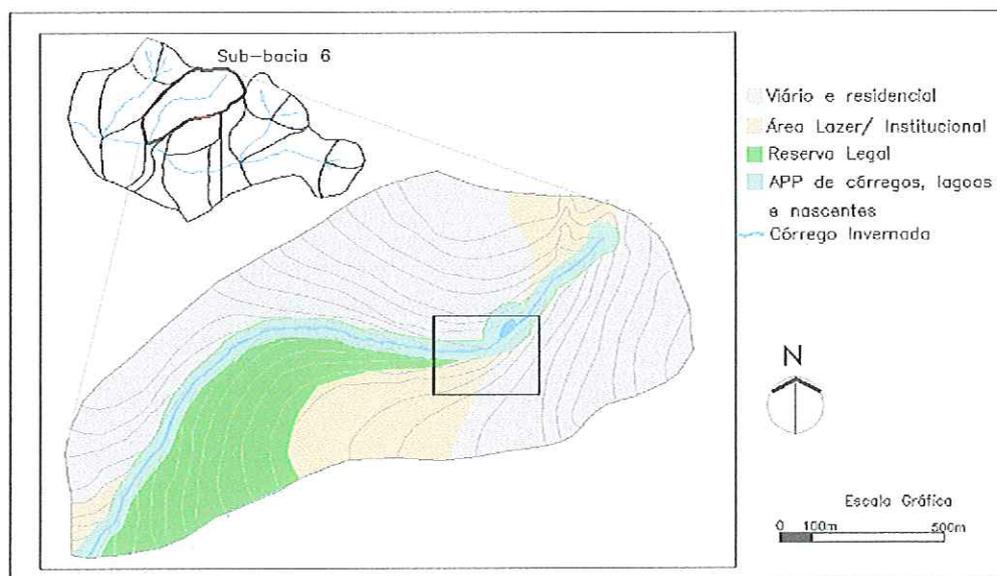


Figura 7.46: Proposta de zoneamento para a sub-bacia 6, considerando as restrições ambientais e de legislação.

Para a área de destaque na figura foi desenvolvido um possível desenho urbano (figuras 7.47 e 7.48), de forma a contemplar todas as medidas não-estruturais consideradas nesse trabalho como: arborização de vias, aumento das áreas verdes dos loteamentos e sua conexão as áreas de preservação, Preservação de 20% da área total para Reserva Legal, além da manutenção da APPs.



Figura 7.47 - Exemplo de desenho urbano para a área em destaque na sub-bacia 6, utilizando medidas preventivas

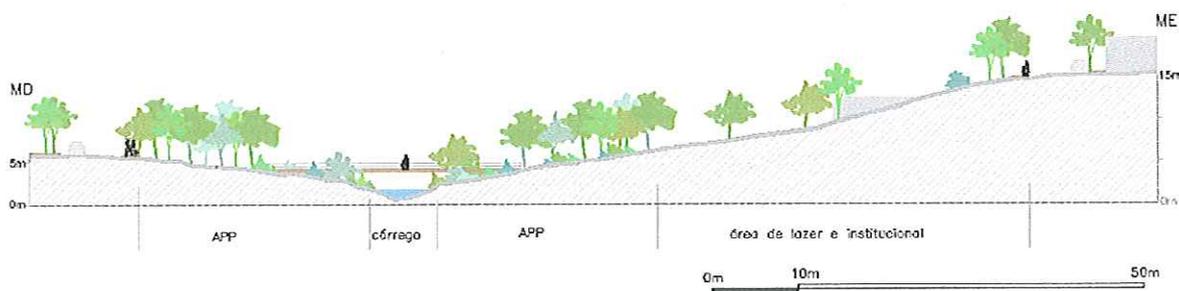


Figura 7.48 - Seção do fundo de vale: preservação e uso público nas áreas lindeiras ao córrego.

7.2.1 Simulação hidrológica e avaliação da proposta

Com o objetivo de analisar, individualmente, os efeitos de cada medida sobre o escoamento no canal, foram realizadas simulações hidrológicas para as seguintes situações: cada uma das medidas aplicadas separadamente na sub-bacia 6; uma proposta de ausência de todas elas, ou seja, impermeabilização máxima na sub-bacia, e, por fim, a aplicação de todas as medidas associadas, como ilustra a figura anterior.

Para as simulações foram utilizados os mesmos eventos de precipitações anteriores (10, 25 e 50 anos, juntamente com a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004). Os hidrogramas resultantes estão apresentados nas figuras 7.49, 7.50, 7.51 e 7.52.

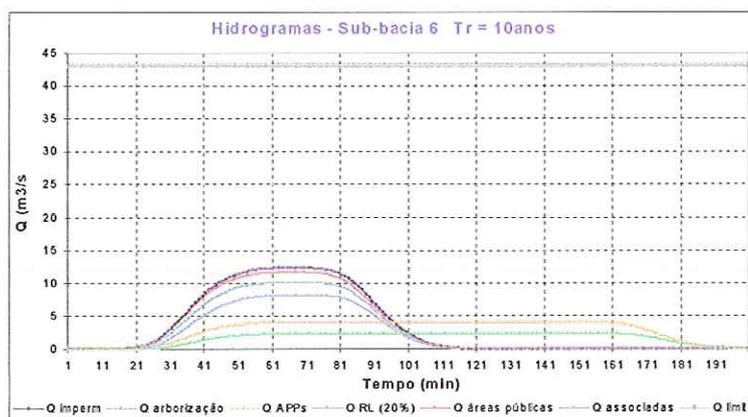


Figura 7.49 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 10 anos.
Fonte: Boldrin (2005).

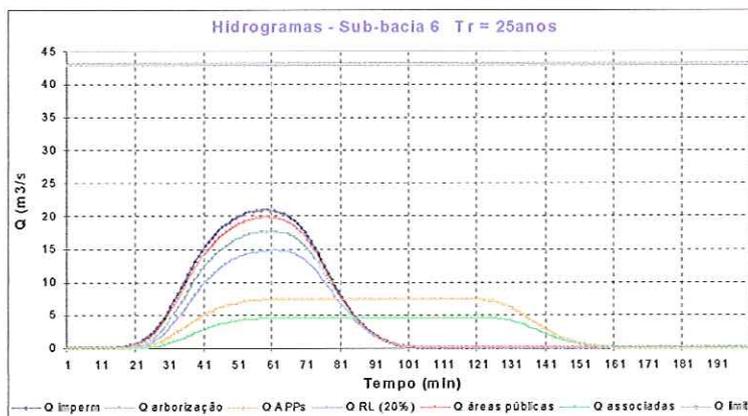


Figura 7.50 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 25 anos.
Fonte: Boldrin (2005).

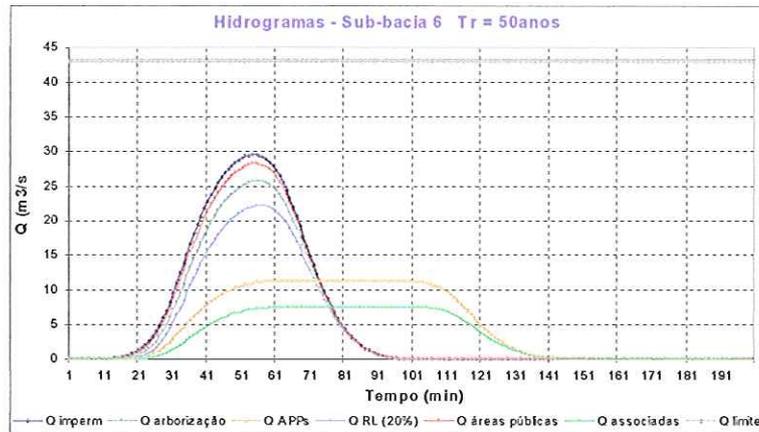


Figura 7.51 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva de tempo de retorno de 50 anos.

Fonte: Boldrin (2005).

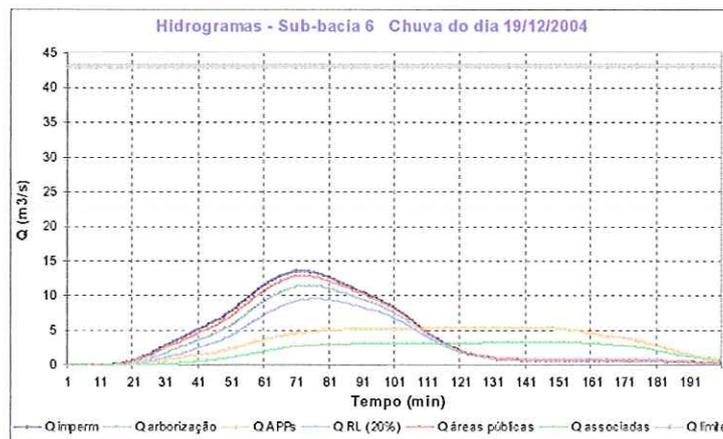


Figura 7.52 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6, para a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004.

Fonte: Boldrin (2005).

A partir da observação desses hidrogramas verifica-se que a redução máxima do pico de vazão ocorre com a associação de todas as medidas. No entanto, dentre as medidas consideradas separadamente, a de melhor desempenho no amortecimento na vazão de pico é a preservação das APPs, cujo resultado no gráfico é parecido com o resultado das aplicação de todas as medidas associadas, com a vazão máxima se mantendo constante no tempo. Isso se deve ao aumento da rugosidade das margens do córrego, devido a presença de mata ciliar ao longo do canal, que contribui para a absorção de parte do escoamento e reduz a sua velocidade.

Também foram simulados, na sub-bacia 6, os efeitos da existência das áreas verdes, consideradas tanto como florestas, quanto parques, para comparar as vazões de pico à medida em que se aumenta as áreas verdes e diminui as áreas impermeáveis (figura 7.53). Nota-se que as vazões de pico sofrem uma diminuição considerável, com o aumento progressivo da quantidade de áreas verdes na sub-bacia, tanto aquelas consideradas como parques, como para florestas.

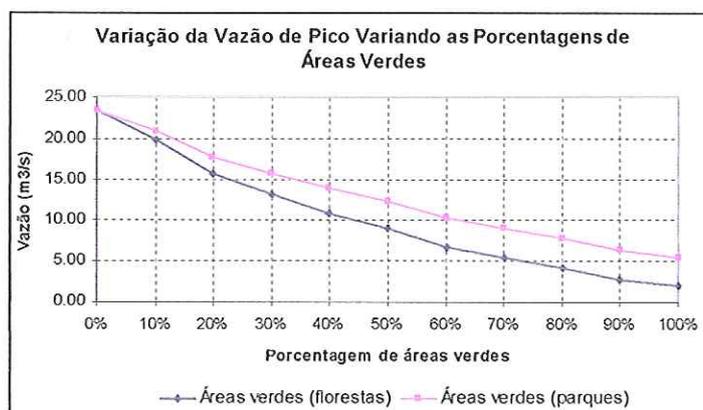


Figura 7.53 – Gráfico da relação vazões de pico e quantidade de áreas verdes (florestas e parques) na sub-bacia 6, para uma chuva com $Tr = 25$ anos. Fonte: Boldrin (2005).

A consideração da importância das áreas verdes para o bom funcionamento do sistema de drenagem na bacia hidrográfica encontra respaldo diante dos resultados das simulações hidrológicas apresentadas nesse estudo, confirmando também o que os diversos autores afirmam sobre a necessidade de manutenção de boa permeabilidade na bacia.

CAPÍTULO 8 – DIRETRIZES E CRITÉRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA BACIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS

A análise da aplicação das medidas não-estruturais apresentadas neste trabalho mostra a necessidade de preservação de maior parcela possível para as áreas verdes, aumentando a permeabilidade e a rugosidade em toda a extensão da bacia. Embora as áreas verdes tenham sido avaliadas com relação à redução do escoamento superficial, a sua manutenção, conforme demonstrado no cap. 4 contempla múltiplas funções, voltadas à garantia da qualidade ambiental urbana.

São apresentadas a seguir diretrizes ambientais gerais para direcionar o planejamento da ocupação urbana que, direta ou indiretamente, atuam na prevenção de enchentes:

- Considerar a bacia como unidade de referência para identificar os impactos do parcelamento urbano sobre a quantidade e qualidade da água.
- Respeitar as características do meio, seus aspectos sociais, econômicos e ambientais, sob uma visão sistêmica, para subsidiar a tomada de decisão de forma a compatibilizar tipologia e localização da atividade a ser implantada na bacia.
- Identificar e considerar a capacidade de suporte dos recursos ambientais em relação à atividade a ser instalada
- Aplicar instrumentos da política urbana, como iptu progressivo ou o direito de preempção, que desestimulem a permanência da ocupação de áreas ambientalmente impróprias, ou dentro das cotas de inundação, de forma que o poder público venha, gradualmente, garantir a não ocupação bem como a manutenção dessas áreas.

- Aplicar instrumentos de incentivo financeiro, como isenção de impostos, para viabilizar a manutenção de áreas verdes de interesse, localizadas em propriedades privadas;
- Considerar as exigências ambientais da legislação como restrições preventivas de impactos negativos na bacia.
- Garantir a taxa de permeabilidade do loteamento não só por meio de coeficientes aplicados aos lotes, mas através de coeficientes que incidam sobre as áreas de uso público.
- Observar a variável hidrológica na formulação dos índices do Plano Diretor.
- Considerar os impactos cumulativos de cada novo empreendimento sobre a quantidade e a qualidade da água no restante da bacia, principalmente nas áreas localizadas a jusante.

A aplicação dessas diretrizes no desenho urbano implica em melhor funcionamento do sistema de drenagem na bacia e melhor qualidade ambiental urbana.

8.1 Critérios de Seleção do sítio

Os elementos naturais que caracterizam o sítio, como a hidrografia, o clima, a vegetação, o solo e o relevo estabelecem relação com a atividade que se pretende implantar, influenciando e sofrendo influência na sua configuração, na qualidade ambiental e principalmente, no funcionamento do sistema de drenagem. Embora descritos separadamente, esses fatores devem ser observados de forma conjunta e sistêmica, para que a preservação e recuperação ambiental do meio seja a questão prioritária no processo de ocupação urbana.

Hidrografia: as margens e nascentes dos cursos d'água, lagos e lagoas devem ser mantidas no estado natural, tendo suas faixas de preservação permanente associadas às áreas verdes dos loteamentos, como as áreas de lazer e recreação. Também se recomenda evitar o parcelamento do solo em áreas alagadiças ou onde o lençol freático situe-se próximo da superfície.

Solo/Topografia: Preservar, na ocupação do solo, as linhas naturais de drenagem do terreno, evitando implantar núcleos com alta densidade e altos índices de impermeabilização do solo nas áreas mais baixas. Também é importante evitar a ocupação e impermeabilização de áreas com inclinação acima de 20%, procurando-se utilizar essas áreas para parques, mantendo-os com intensa vegetação. Devem ser evitados também solos suscetíveis aos processos de erosão hídrica, como também os alagadiços.

Vegetação: Garantir a preservação das matas ciliares remanescentes na área ou promover a recomposição, quando devastadas, mantendo as distâncias dos leitos dos cursos d'água e nascentes, no mínimo, de acordo com as determinações do Código Florestal (Lei 7803/89). Procurar conservar o máximo possível de vegetação nativa, principalmente se localizadas em áreas de relevo acidentado e de solos arenosos, evitando assim o processo de erosão do solo.

8.2 Critérios de Implantação no sítio

Traçado/ vias: Considerar o emprego de traçados orgânicos, que acompanhem as curvas de nível, de forma que ocorra uma resistência maior ao aumento da velocidade do escoamento superficial, conciliando com as características ambientais locais, como suscetibilidade à erosão e alta declividade. Nas áreas próximas aos fundos de vale, as ruas devem ser mais estreitas, de acesso secundário, com calçamento que permita um bom nível de infiltração das águas pluviais.

Sistema de Espaços livres: avaliar a distribuição desses espaços a partir de critérios anteriores como proximidade de corpos d'água, lagoas e nascentes e de vulnerabilidade ambiental da área, principalmente o risco de enchentes. Assim, as áreas de lazer e recreação, por exemplo, devem estar o mais próximo possível de áreas de preservação permanente, possibilitando o aumento da extensão desses espaços e a ampliação dos espaços que possam contribuir para a retenção temporária das águas de chuva. O armazenamento ou a inclusão dos cursos de água no projeto dessas áreas permite criar área de valor paisagístico e de interação das atividades de lazer com a água.

Também devem ser observadas as taxas de permeabilidade das áreas livres, em que elementos como rotatórias, calçadas e estacionamentos, devem ser arborizados e mantidos o mais permeável possível.

“No presente não está apenas o pesadelo do que a cidade pode se tornar se as tendências atuais continuarem, mas também o sonho do que a cidade poderia ser (...) Não estamos e nunca estivemos num caminho inexorável para a destruição”.

ANNE WHISTON SPIRN

O Jardim de Granito



CONCLUSÕES

As conclusões a seguir são relativas aos objetivos propostos para a parte I (revisão bibliográfica) e para a parte II (estudo de caso), respectivamente.

Parte I:

A integração do planejamento da drenagem urbana ao planejamento do uso e ocupação do solo, dentro do princípio de planejamento territorial por meio de bacias hidrográficas, é uma necessidade indiscutível, diante da atual degradação dos recursos naturais nas cidades, sobretudo, a perda da vegetação, a poluição hídrica e as enchentes.

A gestão municipal, hoje realizada de forma totalmente setorial, sem integração entre os diferentes componentes da água e sem considerar as bacias hidrográficas como unidade de planejamento, ignora os impactos sobre a quantidade e qualidade da água, gerados pela urbanização. Normalmente, as "soluções" adotadas para conter enchentes - medidas estruturais - de caráter corretivo, têm se revelado ineficientes, de elevado custo e de curto prazo.

A nova concepção de drenagem urbana, voltada para o planejamento de bacias urbanas sustentáveis, visa soluções harmoniosas e integradas entre o sistema urbano e o natural como fator significativo para a prevenção de inundações.

Nesse sentido, a compreensão do funcionamento do sistema bacia hidrográfica, o conhecimento dos seus aspectos naturais, a análise da capacidade de suporte e a previsão das possíveis alterações ambientais promovem a sustentabilidade do sistema, através do uso de medidas preventivas de enchentes.

O uso da metodologia de cenários futuros é uma ferramenta essencial nesse processo e uma resposta ao grande desafio do planejamento urbano, que é a possibilidade de

antecipar e controlar, por meio de medidas preventivas, os impactos negativos do processo de urbanização antes mesmo que eles venham ocorrer.

As medidas preventivas ou não-estruturais, de baixo custo e menor impacto ambiental, são eficientemente aplicadas, quando associadas às medidas estruturais, e sem dar margem e tornar regra - e não exceção - intervenções pontuais emergenciais. O planejamento e aplicação dessas medidas ocorrem através de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), condicionado pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e articulado aos instrumentos da Política Ambiental, para orientar e disciplinar o uso do solo na bacia, de maneira a complementar as leis federais 6766/79 (Lei Lehman), 4771/65 (Código Florestal) e 9.433 (Lei das Águas).

No entanto, a eficácia da aplicação de medidas preventivas de enchentes depende principalmente da mudança de postura da população para uma participação ativa, com relação ao uso do solo, direcionada ao controle, à manutenção e fiscalização, para que as leis e regulamentos possam cumprir os seus objetivos. Contando com associações legitimadas na atuação da defesa do meio ambiente, como as associações de usuários de micro-bacia, a sociedade, juntamente com o Ministério Público, pode exigir dos órgãos governamentais de fiscalização uma atuação de forma mais incisiva na manutenção de áreas a serem protegidas, como as reservas legais e as APPs.

O panorama da aplicação de medidas preventivas de controle de enchentes em bacias urbanas, apresentado no capítulo 4, demonstra que experiências inovadoras para conter as enchentes estão sendo realizadas em vários países, através do planejamento da ocupação urbana, da consideração dos aspectos ambientais no planejamento, da aplicação de instrumentos econômicos de incentivo ou desestímulo, e das parcerias entre os setores público e privado em ações que considerem a participação da população envolvida.

As experiências mostradas indicam que a bacia urbana sustentável depende, fundamentalmente, do planejamento e manutenção de um sistema de áreas verdes, composto de parques lineares ou corredores ecológicos, que constituem uma aproximação do sistema natural de drenagem. Para além do combate às enchentes, esses sistemas contribuem para a proteção dos ecossistemas, revitalização das zonas ribeirinhas e melhoria da qualidade ambiental e de vida na cidade.

No Brasil, experiências em planejamento da drenagem urbana através de medidas não-estruturais são incipientes, pois há dificuldades e conflitos na aplicação das restrições impostas pelas legislações ambiental e urbana, agravados pela desarticulação dos instrumentos da política ambiental e municipal, como zoneamento ambiental e plano diretor urbano, além do país não contar com a tradição de participação ativa da sociedade.

Parte II:

Do estudo de caso é possível concluir que a urbanização, através da impermeabilização da bacia, ao desconsiderar as limitações de uso impostas pelas características naturais, exerce influência sobre o aumento do escoamento superficial e dos picos de vazão, conforme mostrado no capítulo 7.

A avaliação da simulação hidrológica de diferentes cenários de ocupação do solo propostos indica a necessidade de que medidas preventivas e de controle de inundações embasem tomadas de decisão no planejamento ambiental de bacias hidrográficas.

A proposta de medidas não-estruturais apresentada neste trabalho e simuladas por Boldrin (2005), que consistiram em (1) preservação das faixas de proteção ao longo dos corpos d'água e nascentes, (2) manutenção de uma parcela maior de áreas permeáveis e vegetadas nas áreas públicas dos loteamentos e (3) arborização de vias, quando executadas em conjunto, diminuíram significativamente o escoamento gerado, principalmente nos cenários onde foi possível aplicá-las em toda a bacia (cenários hipotéticos). Esses resultados evidenciam a relação entre sistema de áreas verdes e escoamento superficial para reduzir as inundações.

Diante do atual estado de ocupação urbana na Bacia do Córrego do Gregório e da demanda de expansão futura, apresentados no capítulo 6, os resultados das simulações hidrológicas dos cenários "tendências", para chuvas mais intensas, mostraram as limitações de implementar apenas medidas não-estruturais de controle de inundações. Essas limitações apontam a necessidade de incluir medidas estruturais, como o uso de pavimentos permeáveis, lagoas de detenção e retenção em parques e/ou áreas públicas, dentre outros dispositivos. No entanto, essa associação de medidas não-estruturais e estruturais escapa aos objetivos desse trabalho.

Ainda assim, como mostrado na avaliação do cenário 4a, capítulo 7, grande parte da bacia, sobretudo a área não-urbanizada, permite a aplicação de medidas não-estruturais para garantir a manutenção de áreas verdes, com o estabelecimento de parques lineares nas faixas de proteção dos córregos (associados a outras áreas verdes adjacentes), aumento das áreas vegetadas nos loteamentos, arborização de calçadas e manutenção da calha natural dos cursos d'água, permitindo que o rio serpenteie naturalmente.

Para faixas marginais já invadidas e muitas vezes com obras de canalização do córrego, há a possibilidade de inverter esse processo de forma gradual, através da revitalização ou da "renaturalização" de rios, processo bastante difundido na Europa. Dessa forma, para o cenário 4a, é possível a recuperação do corpo hídrico gradativamente, onde áreas marginais passam a ter usos restritos, como esporte, lazer, recreação e, ao mesmo tempo, de zonas tampão para diminuição do escoamento e de potencial alagamento, reduzindo a vulnerabilidade do espaço construído, caso ocorram eventos extremos que acarretam inundações das áreas adjacentes ao leito maior sazonal.

A localização das áreas verdes proposta nesse estudo de caso, que se delimita pelas restrições ambientais e legais, é uma tentativa preliminar dentro da abordagem de localizar áreas verdes com múltiplos objetivos, como mostrado no capítulo 2, embora, na prática, outros critérios e informações devam ser englobados para que a localização desses espaços esteja de acordo com os interesses locais e seja possível de ser implementada.

As diretrizes e recomendações urbanísticas gerais dispostas no capítulo 8 visam nortear o processo de ocupação e de desenho ambiental, dando suporte ao planejamento de bacias urbanas sustentáveis, que possam resultar em bom comportamento do escoamento superficial e na garantia de melhor qualidade ambiental na cidade.

RECOMENDAÇÕES

As seguintes recomendações são decorrentes do desenvolvimento e dos resultados verificados no presente estudo de caso e poderão contribuir para novas pesquisas:

- Produção, sistematização e atualização dos dados sobre aspectos naturais da Bacia do Córrego do Gregório para subsidiar o planejamento e gestão de ações a serem tomadas no curto, médio e longo prazo e para futuros trabalhos experimentais baseadas em cenários de ocupação.

- Diante da tendência de expansão urbana na bacia, torna-se crucial a realização de pesquisas através de cenários ambientais, por constituir uma excelente ferramenta para tomada de futuras decisões e escolha adequada de estratégias de recuperação ambiental, minimizando os impactos da implantação de futuros loteamentos a montante da bacia.

- Os critérios utilizados nesse trabalho para a determinação de áreas a serem mantidas como espaços verdes podem e devem ser revistos, aprofundados e adaptados à realidade, de forma que novos cenários possam ser elaborados e sirvam de base para o plano diretor de drenagem e para guiar o processo de ocupação da bacia.

- Na gestão das áreas verdes, principalmente daquelas localizadas nos fundos de vale, é necessário considerar a inexorabilidade do processo de urbanização e as possibilidades e limites de um desenho ambiental para esses espaços, de modo a reverter o quadro da degradação ambiental e conciliar interesses sociais e culturais com proteção dos recursos naturais, através da criação e regulamentação das AEIAS "Áreas de Especial Interesse Ambiental e Social".

- Estudos que considerem a aplicação de medidas não-estruturais associadas a medidas estruturais, também com simulação de cenários ambientais, podem ser desenvolvidos e implementados com eficácia para atenuar cheias na Bacia do Córrego do Gregório, visto que esse estudo verificou que o uso apenas de medidas não-estruturais nos

cenários tendenciais não consegue evitar as inundações em áreas ocupadas, principalmente para chuvas mais intensas (tempo de retorno de 25 e 50 anos).

- Novos trabalhos nesse tema poderiam elaborar um zoneamento das áreas de inundação, de forma que as áreas levantadas para além das APPs, que possuam restrições de uso, sejam consideradas num possível PDDrU.

- Estudos que avaliem a viabilidade socioeconômica e ambiental de desapropriação gradual de áreas inundáveis, fora ou dentro das áreas de preservação permanente (APPs) invadidas, para que o poder público possa gradualmente adquirir e gerir esses espaços.

- Elaboração e implementação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana para a Bacia do Córrego do Gregório, com medidas estruturais, que mitiguem as enchentes das áreas de jusante, devido à implantação futuros loteamentos a montante da bacia, e com medidas não estruturais complementares, como plano de arborização, zoneamento de áreas inundáveis, sistema de alerta contra enchentes e modelos de seguros para transferência do risco contra inundações.

- Fortalecer e consolidar a criação de associações de usuários de micro-bacias, como forma explícita de medida não-estrutural de prevenção, que é contemplada na política nacional de recursos hídricos⁶³.

- Incluir os cenários apresentados em projetos piloto de gerenciamento integrado de bacias urbanas, visando o plano diretor de drenagem urbana; em especial, ao projeto FINEP CT-HIDRO 01.02.0086.00, cujo objeto é o experimento piloto de gerenciamento urbano integrado na Bacia do Córrego do Gregório, em São Carlos- SP (www.planodiretorbus.hpgvip.com.br).

- É necessário consolidar o planejamento integrado, através de zoneamento ambiental associado a cenários de ocupação propostos para intervalos de tempo no futuro: 2010, 2025, 2050.

- Usar o conceito de bacias embutidas ou aninhadas, como forma de avaliar uma regionalização de indicadores de planejamento urbano, coerente com a escala dos impactos e das medidas não-estruturais no meio urbano.

⁶³ Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, artigo 47, inciso II.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R. L. (1988). *Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos – SP: Contribuição ao Planejamento*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Vol. 1 e 2. São Carlos. 1998.
- AHERN, J. (1995). Greenways as a planning strategy. In: *Landscape and Urban Planning*, n. 33, p. 131-155. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/landurbplan>. Acesso em: 20 ago. 2004.
- ANGELINI, S. (2001). *Sob o Céu da cidade Sustentável: Formação e expansão do espaço urbano em Poços de Caldas*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.
- BARNETT, J. (1982). Environmental Design and Environmental Conservation. In: *An Introduction to Urban Design*. Nova York: Harper & Row. Parte 1, cap. 2, p. 15-26.
- BARTH, R. T. (1997). *Planos Diretores em Drenagem Urbana: Proposição de Medidas para a sua Implementação*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.
- BEG, M.; SHAKIL, M. (1998). Urban Flood control by non-structural strategies. In: *International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas*. University of São Paulo, Brazil.
- BENINI, R. (2003). Cenários Ambientais visando a mitigação de enchentes decorrentes da implantação do campus II - USP – São Carlos – SP. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR. Anais ABRH/ ACQUACON.

- BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. n. 29, pg 293-301.
- BONDUKI, N. G. (1996) (org). *Habitat: As práticas bem sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*. São Paulo: Studio Nobel.
- BRAGA, R. (2003). Planejamento Urbano e Recursos Hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. (Orgs.). *Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional*. Rio Claro, Departamento de Planejamento Municipal- IGCE- UNESP, pg 113-127.
- BRASIL (1965). Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal.
- BRASIL (1979). Lei nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano.
- BRASIL (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio ambiente.
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil promulgada em 5 de outubro de 1988.
- BRASIL (1997). Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.
- BRASIL (2001). Lei nº. 10.257, de 19 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182º e 183º da Constituição Federal, estabelece as diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- CABRAL, N. R. A. J.; SOUZA, M. P. (2002). *Área de Proteção Ambiental: Planejamento e Gestão de Paisagens Protegidas*. São Carlos: Rima.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. (2001). Predicting Floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio Basin, Porto Alegre, Brazil. In: *Urban Water*, v.3, p. 113-124. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/urbwat>. Acesso em: 16 jan.2004.
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C. (1998). Espaços Livres e Qualidade de Vida Urbana. In: *Paisagem e Ambiente: Ensaios*. São Paulo. FAU / USP. N. 11, p. 277 –288.

- CHAFFUN, N. (1996). Dinâmica Global e Desafio Urbano. In: BONDUKI, N. G. (org). *Habitat: As práticas bem sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*. São Paulo: Studio Nobel.
- COELHO, M. C. N. (2001). Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (orgs.). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- COSTA, H. (2001). Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: Uma Abordagem Geral. Projeto PLANÁGUA – SEMADS/GTZ. Brasil: Rio de Janeiro, agosto.
- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; TURCKIENICZ, B. (2001). Análise da Influência dos Instrumentos Reguladores de Ocupação no Escoamento Urbano. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (orgs). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, v.2, p. 487-498.
- DÉAK, C. (1999). O processo de urbanização no Brasil: Falas e Façanhas. In: DÉAK, C. SHIFFER, S. R. (orgs.). *O Processo de Urbanização no Brasil*. São Paulo: EDUSP.
- DEL RIO, V. (1990). *Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento*. São Paulo: Pini.
- DÖLL, P.; MENDIONDO, E. M.; FUHR, D. (2000). Desenvolvimento de Cenários como uma ferramenta para o Planejamento Regional. In: Workshop SEPLAN-Ceará-Waves, nov-2000. Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany. Disponível em : www.usf.uni-kassel.de/waves.
- ESTEVES, R. L.; MENDIONDO, E. M. (2003). Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP. In: XV Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos, ABRH/Acquacon., Curitiba, Anais, cd-rom.
- FÁBOS, J. G. (2004). Greenway planning in the United states: its origins and recent case studies. In: *Landscape and Urban Planning*, n. 68, p. 321-342. Disponível em: www.elsevier.com/locate/landurbplan >. Acesso em: 16 out. 2004.
- FAISAL, I.M.; KABIR, M. R.; NISHAT, A. (1999). Non-structural flood mitigation measures for Dhala City. In *Urban Water*, p. 145-153, 1999. Disponível em: www.elsevier.com/locate/urbwat>. Acesso em: 23 jan.2004.

- FALCOSKI, L. A. N. (1988). *Metodologia de Análise e Avaliação do Ambiente Construído: Desenho Urbano x Infra-estrutura*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.
- FENDRICH, R.; MALUCELLI, F. C. (2000). Macrodrenagem Urbana: canais abertos versus canais fechados. Disponível em: <www.labdren.ufsc.br>. Acesso em: 05 set 2002.
- FIPAI/PMSC - Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial/ Prefeitura Municipal de São Carlos (2003). *Protijuco - Projeto de Recuperação Ambiental das Várzeas do Alto Tijuco Preto visando o Plano Diretor na sua Bacia Hidrográfica*. Contr. Adm. Nº 019/2003. Relatórios Técnicos.
- FONTES, A. R. M. (2000). *Estudo Analítico da Morfologia Urbana no processo de urbanização visando o planejamento dos Sistemas de Drenagem na cidade de São Carlos - SP*. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2000.
- FORMAN, R.; GODRON, M. (1986). *Landscape Ecology*. Nova York: John Wiley and Sons.
- FRANCO, M. A. R. (1997). *Desenho Ambiental: Uma Introdução à Arquitetura da Paisagem com o Paradigma Ecológico*. São Paulo: Annablume: Fapesp.
- FRANCO, M. A. R. (2000). *Planejamento Ambiental para a cidade Sustentável*. São Paulo: Annablume: Fapesp.
- GIRLING, C.; KELLETT, R. Natural Drainage. In: ----- . *Green Neighborhoods: Planning and design guidelines for air, water and urban forest quality*. Center for housing innovation. University of Oregon. Eugene, OR. Cap. 4. Disponível em: <aaa.uoregon.edu/~nec/guidelines.html> Acesso em: 15 mar. 2004.
- GOUVEA, L. A. C. (1996). *Desenhando a cidade com a natureza*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.
- GRANZIERA, M. L. M. (2001). *Direito de Águas*. Ed. Atlas

- GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (orgs.) (2001). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- HAUGHTON, G.; HUNTER, C. (1996). *Sustainable Cities*. Regional Policy and Development Series 7. London: Atheneum Press.
- JACOBS, J. (2000). *Morte e vida de grandes cidades*. São Paulo: Martins Fontes.
- KARAMOUZ, M.; ZAHRAIE, B. (1998). Non-structural means of flood control for protection of Esfaran Metropolitan area in Iran. In: *International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas*. University of São Paulo, Brazil.
- KELMAN, J.; NIEMCZNOWICZ, J. (1998). Integrated Water Resources Management: The role of Non-Structural flood control Measures. In: *International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas*. University of São Paulo, Brazil.
- KUNDZEWICZ, Z. W. (2002). Non –Structural Flood Protection and Sustainability. In: *Water International*. vol.27, n. 1, p. 3-13, Mar.
- LLARDENT, L. R. A. (1982). *Zonas Verdes y Espacios Libres en la Ciudad*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local, 538 p.
- MAKSIMOVIC, C.; TODOROVIC, Z. (1998). Non-Structural vs. Structural Alternatives in Sustainable Urban Runoff Management. In: *International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas*. University of São Paulo, Brazil.
- MARCONDES, M. J. A. (1999). *Cidade e Natureza: proteção dos mananciais e exclusão social*. São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp. Coleção Cidade Aberta.
- MARICATO, E. (2000). As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias: Planejamento urbano no Brasil. In: ARANTES, O. F.; VAINER, C. e MARICATO, E. *A Cidade do Pensamento Único: Desmanchando Consensos*. Petrópolis: Vozes.
- MARICATO, E. (2001). *Brasil cidades: alternativas para a crise urbana*. Petrópolis: Vozes.
- MCHARG, I. L. (1992). *Design with nature*. New York: John Wiley & Sons, Inc. (25^o edition).

- MENDES, H. C. SOTO, I.; SILVA, T. G. O.; MENDIONDO, E. M. (2004). Histórico de Inundações na Sub-bacia do Gregório, São Carlos - SP: Notícias de Jornal de 1940 a 1996. Relatório Interno. Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, SHS/EESC/USP. Disponível em: <www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica>. Acesso em: 20 de abril de 2005.
- MENDIONDO, E. M. (2005). Flood Risk Management of Urban Waters in Humid Tropics: Early Warning, Protection and Rehabilitation. Invited Paper In: C. Tucci & J. Goldenfum (orgs.) Workshop on Integrated Urban Water Managmt in Humid Tropics, UNESCO IHP-VI (Int. Hydrol. Program), 2-3 April 2005, Foz de Iguaçu, Brazil.
- MENDIONDO, E. M. *et al.* (2004) Metodologia Simplificada de cenários de planejamento para a recuperação ambiental de bacias urbanas. XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Pedro-SP.
- MENEZES, C. L. (1996). *Desenvolvimento urbano e meio ambiente: A experiência de Curitiba*. Campinas: Papirus.
- NASCIMENTO, G. A.; ORTH, D. M. (1998). Adequate mapping – a non-structural measure on urban drainage. In: International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas. Universtity of São Paulo, Brazil.
- NEWMAN, P. W. G. (1999). Sustainability and cities: Extending the metabolism model. In: *Landscape and Urban Planning*, n.44, p. 219 - 226. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/estoct>. Acesso em: 18 agos. 2003.
- ODUM, E. P. (1998). *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara.
- OLIVEIRA, C.H. (1996). *Planejamento Ambiental na Cidade de São Carlos – SP, com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas*. Dissertação (Mestrado). São Carlos, UFSCar.
- OHNUMA JR., A. A. (2005) *Cenários de Reuso de Água Pluvial e controle da drenagem na micro-bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos – SP*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (1988). *Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (2004). *Gestión Integrada de Crecientes*. Documento Conceptual. Ginebra, Suíça.
- OTTONI, A. B.; SZMRECSÁNYI, M. I. (curadoria) (1997). *Cidades Jardins: a busca do equilíbrio social e ambiental, 1898-1998*. 3ª Bienal Internacional de Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP. São Paulo: Fundação Bienal de São Paulo.
- PARTIDÁRIO, M. R. (2000). *Indicadores de Qualidade do Ambiente Urbano*. Lisboa. Universidade Nova de Lisboa / Faculdade de Ciências e Tecnologia: DGOTDU.
- PELLEGRINO, P. R. M. (2000). Pode-se Planejar a Paisagem? In: *Paisagem e Ambiente: Ensaios*. São Paulo. FAU / USP. V. 13, p. 159 –179.
- PERSOONS, E.; VANCLOOSTER, M.; DESMED, A. (2002). Flood Hazard Causes and Flood Protection Recommendations for Belgian River Basins. In: *Water International*, v.27, n.2, p.202-207, jun.
- PIRES, J. S. R. SANTOS, J. E. DEL PRETE, M. E. (2002). A utilização do conceito de bacias hidrográficas para a conservação dos recursos naturais. In: SHIAVETTI, A. CAMARGO, A. F. M. (editores). *Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus-BA: Editus.
- PITTON, S. E. C. (2003). A Água e a Cidade. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. (Orgs). *Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional*. Rio Claro, Departamento de Planejamento Municipal - IGCE- UNESP. p.113-127.
- PLATT, R.H. ROWNTREE, R. A. e MUICK, P. C. (Ed.) (1994). *The Ecological city: preserving and restoring urban biodiversity*. Massachusetts: University of Massachusetts Press.
- PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos (2004a). Plano Diretor de São Carlos I: Diagnóstico da Cidade, Proc. 2146.03, PL 215, Cd-rom.

- PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos (2004b). Plano Diretor de São Carlos I: Projeto de Lei, Proc. 2146.03, PL 215, Câmara Municipal de São Carlos. Disponível em: <www.camara.saocarlos.sp.gov.br>.
- POMPÊO, C. A. (2002) Drenagem Urbana Sustentável. Disponível em: <www.labdren.ufsc.br>. Acesso em: 05/09/2002.
- POMPEU, C. A. (1999). Development of a state policy for sustainable urban drainage. In: *Urban Water*. V. 1, p. 155-160. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/urbwat>. Acesso em: 23 jan.2004.
- QUEIRÓS, E. A. (1996). *A utilização do Sistema de Informações Geográficas no Estudo da Dinâmica do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas: Aplicação na Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos. 1996.
- RANIERI, V. E. L. (2004). *Reservas Legais: critérios para localização e aspectos de gestão*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
- RIBEIRO, M. E. J. (2000). *Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.
- RIGHETO, J. M.; MENDIONDO, E. M. (2004). (2004). Avaliação de Riscos Hidrológicos: Principais Danos e Causas e Proposta de Seguro Contra Enchentes. In: III Simpósio de recursos hídricos do Centro-Oeste, Goiânia - GO, 2004, ABRH/Acquacon, Anais.
- ROLNIK, R. (coordenação) (1999). *Regulação Urbanística e exclusão territorial*. São Paulo: Polis.
- RUTKOWSKI, E. (1999). *Desenhando a bacia ambiental: subsídios para o planejamento das águas doces metropolitanas*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- SACHS, I. (1993). *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Studio Nobel-Fundap.
- SANTOS, M (1992). *O espaço do cidadão*. São Paulo: Editora Nobel.

- SEARNS, R. M. (1995). The evolution of greenways as an adaptative urban landscape form. In: *Landscape and Urban Planning*, n.33, p. 65-80. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/landurbplan>. Acesso em: 16 out. 2004.
- SHERER, R. (1986). Apresentação. In: CORBUSIER, LE (1993). A carta de Atenas. Estudos Urbanos. São Paulo: Hucitec Edusp.
- SILVA, G. H. (1998). Prevenção contra Enchentes. Boletim Dicas – ação administrativa nº. 124. Pólis.
- SILVA, G. H. (2002). O que fazer com os fundos de vale. Disponível em: <www.polis.org.br/publicações>. Acesso em: 18 out. 2002.
- SILVEIRA, A. L. L. (2000). Hidrologia Urbana no Brasil. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (orgs). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, v.1, p. 511-525.
- SMITH, D. S.; HELLMUND, P. C. (1993). *Ecology of greenways: design and function of linear conservation areas*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- SORENSEN, M. *et al.* (1996). *Good Practices for Urban Greening*. Washington.
- SOUZA, M. P. (2000). *Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e prática*. São Carlos: Riani Costa.
- SOUZA, V. C. B. (2002). *Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial*. Tese (Doutorado). Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SPIRN, A. W. (1995). *O Jardim de Granito: A Natureza no Desenho da Cidade*. Tradução de Paulo R. M. Pellegrino. São Paulo: Edusp.
- THOROLFSSON, S. T. (1998). A new direction in the urban runoff and pollution management in the city of Bergen, Norway. In: *Water Science and Technology*, v.38, n.10, p. 123-130.

- TUCCI, C E. M. (2001). Aspectos Institucionais do Controle das Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (orgs.). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, v.2, p. 405-419.
- TUCCI, C E. M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. In: *RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.7, n.1, jan-mar.
- TUCCI, C E. M. (2004). Gerenciamento Integrado das Inundações Urbanas no Brasil. In: *Rega/ Revista de Gestão de Água da América Latina*. Vol. 1, no. 1, jan – jun, p. 59-73.
- TUCCI, C E. M.; VILLANUEVA, A. O. N. (1999). Flood control measures in União da Vitoria and Porto Uniao: structural vs. Non-structural measures. In: *Urban Water*, p. 177-182. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/urbwat>. Acesso em: 23 jan.2004.
- TUCCI, C E. M.; COLLISCHONN, W. (2000). Drenagem Urbana e controle de erosão. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (orgs). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, v.1, p. 119-127.
- TUCCI, C. E. M. (2003). Águas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (orgs.). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 11-129.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. (1997). Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.2, n.1, p. 135-152.
- TURNER, T. (1998). *Landscape planning and environmental impact design*. London: UCL Press.
- ULTRAMARI, C. (1998). Da viabilidade de um desenvolvimento sustentável para as cidades. In: *Boletim Desenvolvimento Urbano & Meio Ambiente*. n.33, ano 7, maio/junho-1998.
- VILLAÇA, F. (1999). Uma contribuição para a historia do planejamento urbano no Brasil. In: DÉAK, C. SHIFFER, S. R. (orgs.). *O Processo de Urbanização no Brasil*. São Paulo: EDUSP.