Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle: Trecho da bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP

## Rodrigo Süzes Boldrin

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 Engenharia – Especialidade: Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo



São Carlos 2005



Class. TESE V
Cott. 1302
Tombo T 148/05
Sysno 145 39 6 6

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

B687a

Boldrin, Rodrigo Süzes

Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle : trecho da bacia do córrego do Gregório, São Carlos-SP / Rodrigo Süzes Boldrin. -- São Carlos, 2005.

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

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo.

Drenagem urbana. 2. Modelagem hidrológica.
 Urbanização. 4. Medidas não-estruturais. I. Título.

### FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro RODRIGO SÜZES BOLDRIN

Dissertação defendida e julgada em 23-05-2005 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. EDUARDO MÁRIO MENDIONDO (Orientador)

(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Dr. RODRIGO DE MELO PORTO

(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Dr. NESTOR ALDO-CAMPANA

(Universidade de Brasília/UnB)

Profa. Titular MARIA DO CARMO CALIJURI

APROVADO

PROUADO

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

#### **AGRADECIMENTOS**

Aos professores: Doutor Marcelo Pereira de Souza e Doutor Eduardo Mario Mendiondo, pela excelente orientação e estímulo para a realização deste trabalho.

Aos professores: Doutor Rodrigo de Melo Porto e Doutor Nestor Aldo Campana, pela gentileza de participarem da banca examinadora na defesa do trabalho e poderem contribuir com suas sábias argüições.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos.

Aos amigos do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, que sempre estiveram dispostos para qualquer ajuda, em especial ao Alfredo e Rubens.

Aos companheiros do LabSIG: Minduim, Isabel, Aldo, Tatiana, Mario, Gabriela, Rafael, Denis, Denise, Fortunato e professor Vitor.

A companheira de trabalho arquiteta Elisânia, por compartilhar os momentos de glória e frustração no decorrer deste trabalho interdisciplinar.

Ao amigo Guilherme de Lima, por estar sempre pronto a ajudar.

A todos meus familiares, pela grandeza de proporcionarem-me uma estrutura familiar fundamentada nos princípios da educação, honra, coragem, dever e amor.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Ao convênio FINEP-CT-HIDRO / EESC-USP / DAEE-SP / FIPAI, 01.02.0086.00, Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, do Grupo de Pesquisa do CNPq.

À minha mãe, Pelo amor e dedicação com os filhos, com carinho e saudades.

#### **RESUMO**

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.

Os processos de cheias em bacias urbanas vêm sendo agravados devido a uma série de motivos associados à ocupação desordenada do solo urbano. As medidas de controle de enchentes podem ter sua eficiência analisada através da modelagem hidrológica matemática. É neste sentido que o presente trabalho analisa a influência da urbanização sobre os distúrbios no escoamento superficial, por meio de simulações de cenários urbanísticos propostos, com a finalidade de servir como ferramenta de planejamento urbano. Para isso, definiu-se como área de estudo, parte da bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP. As principais informações da bacia a serem consideradas são: topografia, hidrografia, uso do solo urbano, expansão da área urbana, áreas de proteção ambiental e divisores de microbacias. O modelo hidrológico utilizado é o IPHS-1, do tipo concentrado. Para essa análise são propostos e simulados cenários urbanísticos, baseados na adoção de medidas de controle de inundações não-estruturais, referindo-se principalmente, à conservação de áreas verdes e disciplinamento do uso e ocupação do solo, verificando sua eficiência na redução do volume escoado e atenuação das vazões de pico.

Palavras-chave: drenagem urbana; modelagem hidrológica; urbanização; medidas não-estruturais

#### **ABSTRACT**

BOLDRIN, R. S. (2005). Urban Flooding Scenarios Assessment from non-structural measures of flood control: Part of the Gregório River Basin in São Carlos – SP. M. Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

The flooding processes in urban basins have become worse due to many reasons. All of them associated with the disorganized occupancy of the urban area land. The efficiency of flood mitigation measures can be analyzed by mathematical modeling. This study aims to be used as a tool for urban planning and it analyses the influence of the urbanization processes on surface runoff, using simulation of several urbanization scenarios. The case study was undertaken at the Gregório River Basin in São Carlos – SP. The main information considered was topography, hydrology, urban land use, urbanization, protected land and sub-basins. The software used was IPHS-1 which is a lumped hydrologic model. In this research many urbanization scenarios are proposed and simulated. These views are based in many nonstructural flood mitigation alternatives such as land cover conservation, use and occupancy of the land, in order to check their efficiency in reducing the total volume of surface runoff and the peak flow.

**Key-words**: urban drainage; hydrological modeling; urbanization; nonstructural flood mitigation alternatives.

## LISTA DE FIGURAS

~			7	-
1 11	1111	11	n	~
Ca	$\nu u$	62 1	U	

Figura 01	Evolução do crescimento populacional e eventos de inundação	20
Figura 02	Gerenciamento da drenagem e suas inter-relações	31
Figura 03	Reflexos da retirada da cobertura vegetal pela expansão urbana	
	sobre os processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento	
	superficial	33
Figura 04	Zoneamento da expansão urbana da cidade de São Carlos/SP	63
,		
Capítulo 4		
A CONTRACTOR OF THE CONTRACTOR		
Figura 05	Hidrograma unitário triangular do SCS	74
Figura 06	Bacia hidrográfica do Córrego do Gregório	76
Figura 07	Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 1962	77
Figura 08	Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 1972	78
Figura 09	Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 2004	78
Figura 10	Curvas planialtimétricas da sub-bacia do Córrego do Gregório	80
Figura 11	Hidrografia da sub-bacia do Córrego do Gregório	80
Figura 12	Foto do exutório do pequeno afluente canalizado e seco	81
Figura 13	Geometria e batimetria da seção 1 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	82
Figura 14	Geometria e batimetria da seção 2 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	82
Figura 15	Geometria e batimetria da seção 3 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	82
Figura 16	Geometria e batimetria da seção 4 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	83

Figura 17	Geometria e batimetria da seção 5 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	83
Figura 18	Geometria e batimetria da seção 6 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	83
Figura 19	Geometria e batimetria da seção 7 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	84
Figura 20	Geometria e batimetria da seção 8 e foto ilustrativa das condições	
	atuais do canal	84
Figura 21	Coeficiente de rugosidade de Manning na rede hidrográfica e	
	localização das seções medidas em campo	85
Figura 22	Arborização das ruas	89
Figura 23	Hietograma do evento A	95
Figura 24	Hietograma do evento B	95
Figura 25	Hietograma do evento C	95
Figura 26	Hietograma do evento D.	96
Figura 27	Hietograma de projeto para a sub-bacia do Córrego do Gregório, para	
	tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos	96
Capítulo 5		
Figura 28	Sub-bacia do Córrego do Gregório dividida em 18 sub-bacias para	
	melhorar a homogeneização dos parâmetros	
Figura 29	Discretização em trechos da rede hidrológica atual	99
Figura 30	Uso do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 1	101
Figura 31	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 2	102
Figura 32	Usos do solo totais da sub-bacia do Córrego do Gregório para o	
	cenário 2	103
Figura 33	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 3a.	103
Figura 34	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 3b.	105
Figura 35	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 4a.	107
Figura 36	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 4b.	107
Figura 37	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 5a.	108
Figura 38	Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 5b.	110
Figura 39	Curvas-chave analisadas para a sub-bacia do Córrego do Gregório,	

	seção do Fórum112
Figura 40	Método de separação gráfica da precipitação efetiva115
Figura 41	Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da sub-bacia para
	efeito de calibração do modelo de simulação, relativo
	ao evento A118
Figura 42	Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da
	sub-bacia para efeito de calibração do modelo de simulação, relativo
	ao evento B
Figura 43	Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da
Ü	sub-bacia para efeito de validação do modelo de simulação,
	relativo ao evento C120
Figura 44	Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da
Ü	sub-bacia para efeito de validação do modelo de simulação,
	relativo ao evento D120
Figura 45	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma
	chuva com Tr = 10 anos
Figura 46	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma
	chuva com Tr = 25 anos
Figura 47	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma
	chuva com Tr = 50 anos
Figura 48	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para a
_	chuva do dia 19 de Dezembro de 2004124
Figura 49	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a
; <del>-</del>	rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr = 10 anos125
Figura 50	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a
-	rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr = 25 anos125
Figura 51	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a
	rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr = 50 anos126
Figura 52	Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1,
	com a rede de canais descanalizada, para a chuva do dia
	19 de Dezembro de 200412
Figura 53	Hidrogramas simulados para a comparação dos cenários 4a, original e
	alterado, na seção 112
Figura 54	Cotas de inundações na seção 1 para o cenário 4a alterado12
Figure 55	Medidas de controle propostas aplicadas em conjunto na sub-bacia 613

Figura 56	Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas
	ou em conjunto na sub-bacia 6, para uma chuva com $Tr = 10$ anos132
Figura 57	Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas
	ou em conjunto na sub-bacia 6, para uma chuva com $Tr=25$ anos132
Figura 58	Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas
	ou em conjunto na sub-bacia 6, para uma chuva com $Tr = 50$ anos132
Figura 59	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
Figura 60	Gráfico da variação das vazões de pico, variando a quantidade de áreas
	verdes (florestas e parques) na sub-bacia 6, para uma chuva
	com Tr = 25 anos
Figura 61	Gráfico da variação das porcentagens de redução da vazão de
	pico original
Figura 62	Foto da canalização existente à jusante do trecho 3
Figuras 63 a 69	Usos do solo para os cenários propostos, classificados como áreas
	permeáveis, áreas verdes, pastagem e agricultura
Figura 70	Foto de uma construção de condomínio habitacional localizada próxima à
	margem esquerda do Córrego do Gregório141

## LISTA DE TABELAS

# Capítulo 3

Tabela 01	Catástrofes naturais no Mundo, 1962 – 1992	7
Tabela 02	Catástrofes naturais no Mundo, 1985 – 1999.	7
Tabela 03	Número de inundações por região, 1973 - 2002	8
Tabela 04	Mortalidade devido a doenças de veiculação hídrica no Brasil	10
Tabela 05	Proporção de cobertura de serviços, por grupos de renda no Brasil em	
	porcentagem	10
Tabela 06	Número de ocorrências totais no Brasil em 1996	11
Tabela 07	Tipologia de tipos de enchentes, características e impactos	13
Tabela 08	Evolução da população urbana, de 1955 a 2015	.15
Tabela 09	Maiores cidades do Mundo	15
Tabela 10	Urbanização na América do Sul	.15
Tabela 11	Crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização	16
Tabela 12	População e crescimento das principais cidades brasileiras	16
Tabela 13	Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas	19
Tabela 14	Estratégias não-estruturais para controle de enchentes e mitigação de	
	problemas de saúde ambiental	22
Tabela 15	Fatores específicos da inibição da modernização da drenagem urbana em	
	países em desenvolvimento.	.28
Tabela 16	Evolução populacional do município de São Carlos entre 1940 e 2000	.57
Tabela 17	Notícias encontradas em jornais sobre inundações na sub-bacia do	
	Córrego do Gregório entre 1940 e 1996.	.61
Tabela 18	Parcelamento do uso do solo para as zonas de expansão urbana	.64
Capítulo 4		
Tabela 19	Valores do parâmetro S para bacias rurais	.70

Tabela 20	Valores do parâmetro S para bacias urbanas	71
Tabela 21	Correção de S em função da umidade antecedente	73
Tabela 22	Coordenadas das seções medidas em campo	81
Tabela 23	Valores de rugosidade	85
Tabela 24	Vazões máximas suportadas pelas seções de controle	93
Capítulo 5		
Tabela 25	Medidas das sub-bacias resultantes da divisão	98
Tabela 26	Discretização dos canais naturais do sistema drenante da sub-bacia do	
	Córrego do Gregório	100
Tabela 27	Discretização dos canais canalizados do sistema drenante da sub-bacia	do
	Córrego do Gregório	100
Tabela 28	Comparação entre os raios hidráulicos das seção reais observadas em	
	campo e as seções "descanalizadas"	100
Tabela 29	Usos do solo nas sub-bacias para o cenário 2	102
Tabela 30	Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 3a	104
Tabela 31	Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 3b	105
Tabela 32	Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 4a	106
Tabela 33	Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 4b	108
Tabela 34	Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 5a	109
Tabela 35	Usos do solo nas sub-bacias para o cenário 5b	110
Tabela 36	Qualidade do ajuste na calibração através da função ISE	113
Tabela 37	Características dos eventos utilizados na calibração e validação dos	
	parâmetros utilizados no modelo hidrológico	115
Tabela 38	Capacidade de armazenamento do solo para Ia = 0,2S e Ia real, nos	
	eventos utilizados	116
Tabela 39	Porcentagens das reduções dos valores de S para transição da condição	
	de umidade II para III	117
Tabela 40	Média dos valores das condições de armazenamento do solo (S) para	
	calibração dos eventos A e B	117
Tabela 41	Média dos valores das condições de armazenamento do solo (S) obtidos	3
	para cada sub-bacia na calibração dos eventos A e B	119
Tabela 42	Média dos valores das condições de armazenamento do solo (S) obtidos	3
	para cada sub-bacia e utilizados nas simulações dos cenários	122

Tabela 43	Vazões de suporte e máximas para as precipitações de projeto relacionadas
	com suas respectivas áreas e perímetros exigidos, para a seção 1129
Tabela 44	Áreas relativas aos usos do solo referentes às medidas propostas para a
	sub-bacia 6 e seus respectivos valores de armazenamento do solo (S)131
Tabela 45	Variação das vazões de pico dos cenários simulados comparados à vazão
	máxima atual140

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA	ii
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS.	ix
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Organização da Dissertação.	4
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	5
CAPÍTULO 3 – REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1). As Enchentes em Números.	6
3.2 Inundações Urbanas	1
3.2.1. A Expansão Urbana e as Inundações.	1
3.2.2. Controle das Inundações Urbanas.	2
3.3. Drenagem Urbana	2
3.3.1. Drenagem Urbana Atual.	2:
3.3.2. Drenagem Urbana Sustentável	20
3.3.2.1. Desenvolvimento Sustentável.	28
3.3.2.2. Capacidade de Suporte	29
3.3.2.3. Drenagem Urbana na Cidade Sustentável.	30
3.3.2.4. A Colaboração das Áreas Verdes.	32
3.4. A Preocupação com a Drenagem Urbana	35
3.5. A Busca pela Sustentabilidade nas Bacias Urbanas	38
3.6 Modelos Hidrológicos	44
3.6.1. Modelos no Exterior	4

		40
	3.6.2. Modelos Nacionais.	49
	3.7. Estudos de Medidas Não-Estruturais	52
	3.8. A Cidade de São Carlos e as Enchentes.	56
	3.8.1. Características Gerais.	56
	(3.8.2) Urbanização	57
	3.8.3) As Enchentes em São Carlos	59
(	3.8.4, Legislação Municipal	62
	CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	65
	4.1. A Revisão Literária	65
	4.2. O Modelo IPHS-1	65
	4.2.1. Modelos Utilizados no Trabalho	68
	4.3. Área de Estudo	75
	4.4. As Medidas de Controle	85
	4.5. A Capacidade de Suporte do Canal	92
	4.6. Precipitações Observadas e de Projeto.	93
	CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
	5.1. Discretização dos Cenários.	97
	5.2. O Hidrograma Observado	111
	5.3. Ajuste do Modelo de Simulação.	112
	5.4. Calibração e Validação	114
	5.5. Simulações dos Cenários.	121
	5.6. Discussão dos Resultados das Simulações.	135
	CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	142
	6.1. Conclusões	142
	6.1.1 Da Aplicação da Metodologia	142
	6.1.2. Aplicação dos Resultados nos Processos de Gerenciamento	
	da Drenagem	143
	6.1.3. Conclusão	144
	6.2. Recomendações para Novas Pesquisas	145
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
	ANEXO A – Relatório detalhado dos cálculos das vazões máximas limites nas	
	seções pelo software FlowMaster	160

ANEXO B – Relatório detalhado dos cálculos da vazão máxima limite na	
seção 1 para η=0.11, pelo software FlowMaster	177
ANEXO C - Relatório dos cálculos dos níveis atingidos pela água, para a nova	
seção 1, para chuvas com $Tr = 10$ , 25 e 50 anos, e para $\eta = 0,11$ , utilizando o	
software FlowMaster	180
ANEXO D - Relatório dos cálculos da vazão limite na seção 5, para valores de	
$\eta$ = 0,03 e 0,11, pelo software FlowMaster	187
ANEXO E - Hidrogramas das simulações das seções: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08	189
ANEXO F – Zoneamento da macro-zona urbana e perímetro urbano	202

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A alta taxa de crescimento populacional sofrida pelas cidades de médio porte, processo já vivenciado pelas grandes cidades, colabora com o aumento da área impermeabilizada nas bacias hidrográficas. Tal fato associado ao assoreamento dos leitos dos rios, à poluição dos corpos d'água e às deficiências no planejamento da drenagem urbana, formam um quadro característico de um dos principais problemas que afligem, há algum tempo, os municípios brasileiros.



O processo histórico de ocupação do espaço cria sérios problemas que resultam num quadro ambiental atual crítico, destacando-se as altas taxas demográficas, a favelização, a poluição, a deficiência em saneamento básico e as inundações. Tais problemas são mais significativos nas áreas marginais das cidades, ocupadas pela população de baixo poder aquisitivo, onde a carência quase total em infra-estrutura básica resulta em um alto grau de vulnerabilidade ambiental, deixando-a indefesa contra os fenômenos da natureza.

O desenvolvimento de uma área urbana provoca impactos sobre os processos hidrológicos existentes e estão intimamente ligados ao modo de ocupação do solo e ao aumento das superfícies impermeáveis em grande parte das bacias que estão situadas nas proximidades das zonas de expansão urbana municipal ou inseridas no perímetro urbano.

No Brasil, alagamentos e inundações são eventos esperados, principalmente durante o período chuvoso, quando é típica a ocorrência de chuvas com forte intensidade. Um pequeno rio, uma adutora ou até mesmo uma canalização, pode vir a tornar-se um fator de risco, surpreendendo a todos e causando grandes prejuízos.

Atualmente, no território nacional vigora a abordagem clássica de drenagem, arquitetada para (a) coletar a água oriunda dos escoamentos superficiais, gerados pelos eventos de precipitação atmosférica e (b) rapidamente conduzi-la para um emissário final, no caso o curso d'água natural. Nesta abordagem são desprezadas as

consequências, o que pode resultar em aumento significativo de nível do escoamento no canal e ocasionar transbordamentos e inundações de áreas ocupadas de jusante, tendo como saldos danos materiais e riscos à saúde das pessoas ali instaladas.

O risco de uma comunidade ou empreendimento estar exposto a uma enchente está relacionado com uma combinação de dois fatores: a probabilidade de ocorrência de uma enchente na área e a segurança da área em relação às consequências causadas pela enchente. Deste modo, para agir nessas duas frentes, utilizam-se as medidas de controle estruturais e não estruturais. Cada vez mais, percebe-se a necessidade da integração entre obras de controle hidráulico que agem na bacia com as medidas de gerenciamento e mudança de comportamento, de modo a evitar que as obras não tenham caráter apenas temporário, mas sim atuando de forma sustentável.

As medidas não-estruturais no gerenciamento do controle às inundações são cada vez mais analisadas e estimuladas, destacando-se sua atuação na fase de planejamento. Elas podem ser expressas por métodos que atuam no aumento do tempo de ocorrência dos picos das cheias na bacia e favoreça da maneira mais eficiente possível, os níveis de infiltração da água no solo.

A dinâmica da transformação com igual ênfase para as dimensões econômicas, sociais e ambientais da paisagem e a consideração de intervalo de tempo que abranja diferentes gerações humanas, é a premissa básica para o uso sustentável do meio ambiente. Para segui-la, um dos maiores desafíos a ser conquistado, é o planejamento adequado do uso da terra. Os objetivos do gerenciamento sustentável da drenagem nas bacias urbanas são entendidos não somente para realizar o transporte efetivo e seguro do escoamento e o controle da poluição, mas também para fornecer um suporte ecológico com benefícios estéticos para a população. Isto é associado com a proteção e conservação dos corpos d'água urbanos e suas áreas adjacentes, com a valorização do cotidiano da comunidade local, com possibilidades de, até mesmo, um alcance recreacional e de lazer.

Muitas comunidades estão procurando entender como o desenvolvimento futuro pode afetar uma bacia hidrográfica e estão usando estas informações para desenvolver planos de gerenciamento que protejam seus corpos d'água.



Assim, o planejamento das bacias urbanas deve considerar o desenvolvimento futuro do local de estudo. Contudo, a falta de um planejamento adequado e as várias irregularidades na ocupação descontrolada do solo torna essa tarefa bastante difícil.

45

Evidência forte da necessidade de um tratamento integrado do planejamento da drenagem urbana e o desenvolvimento das cidades é vista pelo grande número de países desenvolvidos que adotaram ou estão adotando este tipo de planejamento. No Brasil, atualmente, esse planejamento integrado ocorre vagarosamente, sendo discutido e aplicado em algumas cidades através de planos diretores respectivos.

Para o processo de redução de inundações urbanas, o planejamento da drenagem defende a necessidade da implantação de uma política de intervenção de controle de caráter não-estrutural, como o planejamento e o disciplinamento do uso do solo urbano.



Para buscar melhores previsões e soluções para os efeitos da urbanização nas bacias urbanas de drenagem entram em ação os modelos hidrológicos de precipitaçãovazão. Hoje, é estudado um número cada vez maior desses modelos que se baseiam: na intensidade, duração e tempo de recorrência da precipitação; características da bacia, como: área de drenagem, comprimento do canal, tipo de solo, cobertura da vegetação e; características da urbanização como: geometria da rede de drenagem, locação e extensão da área impermeável na bacia.

O planejamento da drenagem urbana é um processo que deveria considerar a bacia estudada desde seus primórdios até um cenário de evolução urbana a nível máximo tolerável. É neste sentido que o presente trabalho analisará vários cenários urbanísticos propostos para a área de estudo, desde sua condição natural primitiva, condição atual de desenvolvimento e condições futuras. Procura-se verificar a eficiência das medidas propostas pelo Projeto de Lei do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de São Carlos, em processo de discussão iniciado no ano de 2002. A estratégia é comparar seus resultados, em termos quantitativos para os canais, com os efeitos obtidos com a proposta de medidas complementares, evidenciando a importância da preservação e manutenção das áreas verdes na bacia.

Como não poderia deixar de ser, devido à complexidade do ambiente envolvido, o trabalho foi realizado de maneira interdisciplinar, beneficiando-se de reuniões e discussões com profissionais de outras áreas. Especial referência faz-se do

trabalho de Alves (2005), utilizado e discutido com a própria autora, para a proposição dos cenários estudados no decorrer do presente trabalho.

### 1.1. Organização da Dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos. Há uma preocupação em expor ao leitor um encadeamento, com uma base teórica e conceitual a respeito do tema, seguido de um estudo de caso, que possibilite a discussão sobre a eficiência e a aplicabilidade das propostas.

Deste modo, o primeiro e o segundo capítulo, respectivamente, fazem uma abordagem introdutória que justifica o tema, e apresenta os objetivos gerais e específicos que atuarão como metas a serem atingidas.

No capítulo 3, por meio da revisão bibliográfica, são abordados conceitos relevantes a respeito das inundações urbanas, suas causas e conseqüências, seus números adversos, da utilização de medidas de controle às enchentes, da drenagem urbana atual e sustentável, além de revelar a preocupação dos países com a drenagem urbana e a busca para atingi-la de modo sustentável. Ainda neste capítulo é realizada uma revisão sobre modelos hidrológicos utilizados em estudos hidrológicos equivalentes, nacionais e internacionais, bem como um resumo a respeito de outros casos de aplicação de medidas não-estruturais de controle de enchentes.

O capítulo 4 refere-se ao desenvolvimento da metodologia, no qual são descritos os materiais e os métodos utilizados no trabalho.

Os resultados e discussões são apresentados no capítulo 5. Neste, são analisados os hidrogramas resultantes da simulação de diversas chuvas, observadas e de projeto, para os vários cenários propostos em diferentes seções da rede de drenagem.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e recomendações para novas pesquisas.

A dissertação é finalizada com a listagem das referências bibliográficas aproveitadas na elaboração do presente trabalho e os anexos respectivos.

### CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar cenários de inundações como consequência da urbanização tendo como base a capacidade de suporte do meio ambiente.

### Objetivos específicos:

- Simular e estudar cenários urbanísticos propostos a partir de medidas nãoestruturais de controle de inundações, baseando-se no uso e ocupação do solo;
- Apontar propostas de medidas não-estruturais de controle de enchentes para a bacia;
- Aplicar os conceitos contemplados em um trecho da bacia do córrego do Gregório, SC – SP.

### CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1. As Enchentes em Números

As inundações resultam em prejuízos das mais diversas ordens e na morte de milhares de pessoas por ano. Elas respondem por cerca de 1/3 de todos os gastos referentes à realocação humana, recuperação da infra-estrutura e das áreas destruídas depois da ocorrência de grandes desastres. Na década de 90, entre as pessoas atingidas por algum tipo de desastre natural no planeta, 75% foram vítimas de inundações (ANA, 2004).

Cada vez mais frequentes nos noticiários diários, as inundações urbanas são responsáveis por perdas, além da principal, humanas, outras relevantes, como materiais, interrupção da atividade econômica e social, contaminação por doenças de veiculação hídrica e contaminação da água. Além disso, segundo Mendes (2004), muitas cidades brasileiras apresentam ligações clandestinas de esgoto não tratado nas galerias pluviais, o que pode ocasionar, numa situação de inundação, contato direto da população com a água contaminada.

A compensação de danos causados por inundações, de acordo com Berz (2000), nos últimos dez anos, exigiu o emprego de mais de 250 bilhões de dólares. Uma comparação entre as inundações e outros riscos naturais no período de 1963 a 1992 e de 1985 a 1999, expressa nas tabelas a seguir, indica a proporção desses eventos.

1-2

0-6

Tabela 01 - Catástrofes naturais no Mundo, 1962 - 1992 (Adaptado de ASKEW, 1997)

	Danos significativos	Pessoas afetadas	Número de mortes
Tempestades	30%	20%	19%
Terremotos	10%	4%	13%
Secas	22%	33%	3%
Inundações	32%	32%	26%
Outros	6%	11%	39%

Tabela 02 - Catástrofes naturais no Mundo, 1985 - 1999 (Adaptado de BERZ, 2000).

	8.737 eventos	US\$950 bn (perdas)	569.970 mortes	US\$ 189 bn (seguros)
Tempestades	36%	34%	11%	71%
Terremotos	15%	25%	30%	13%
Inundações	29%	29%	53%	8%
Outros	20%	12%	6%	8%

Os dados revelam a triste estatística sobre as inundações, possuindo grande número de eventos catastróficos, envolvendo muitas pessoas, com grande porcentagem de gastos e o que é pior, mais recentemente, chegando a 53% de mortes, dentre as pessoas afetadas por catástrofes naturais.

Analisados os números, certamente as enchentes, comparadas a outras catástrofes naturais, merecem um lugar de destaque quando o assunto está relacionado a perdas financeiras e humanas.

Para complementar o estudo, Righetto e Mendiondo (2004) mostram a realidade de alguns países europeus e asiáticos em termos de perdas com enchentes. Por exemplo, na Alemanha, entre 1993 e 1995, as enchentes do Rio Reno provocaram US\$ 2 bilhões de perdas para a economia nacional. Na Áustria e na República Checa, os gastos chegaram a US\$ 3 bilhões e US\$ 2 bilhões, respectivamente, no mesmo período. Na Ásia, a China pode ser considerada um dos lugares mais afetados do mundo por enchentes e que entre os anos 1991 e 1996, teve um prejuízo em sua economia de US\$ 40 bilhões, com milhares de casas arrasadas, além de 7.238 mortes. Em Bangladesh, no ano de 1991, inundações causadas por um ciclone foram responsáveis por 140.000 mortes. Entre 1986 e 1995, 365 mil pessoas morreram por catástrofes naturais, sendo que mais da metade desse número pelas enchentes.

Outro fator relevante, segundo dados da *International Strategy for Disaster Reduction; United Nations* (2003), é de a América do Sul ser a terceira região do Mundo com maior número de incidências de inundações entre 1973 e 2002, registrando 11,8% do total de inundações ocorridas neste período, conforme a tabela 03.

Tabela 03 - Número de inundações por região, 1973 - 2002 (MENDES, 2004).

	N°.de	*******************
Região	inundações entre 1973 e 2000	Porcentagem
Asia Central	337	relacionada (%)
Asia do Sudeste	250	12,3
América do Sul	240	11,8
Asia do Leste	173	
Africa do Leste	136	8,5
América do Leste	130	0,7
Norte	113	5,6
América Central	100	4,9
Europa do Leste	92	4,5
Africa do Oeste	87	4,3
Europa do Sul	73	3,6
	70	
Europa do Oeste		3,5
Caribe	68	3,4
Africa do Norte	66	3,3
Austrália	63	3,1
Asia do Oeste	55	2,7
Africa Central	39	1,9
Africa do Sul	28	1,4
Europa do Norte	24	1,2
Malásia	9	0,4
Micronésia	2	0,1
Polinésia	1	0

Terrazas e Selene (2003) apresentam números de pessoas atingidas por inundações na Bolívia que, na década de 80, foram cerca de 300 mil e entre os anos compreendidos entre 1990 e 2000 as pessoas afetadas superaram a marca de 300 mil. E, ainda mais impactante, em apenas um evento, ocorrido no dia 18 de março de 1983, o número de afetados pela inundação ocasionada foi de aproximadamente 25

mil habitantes, sendo que desses, 100 pessoas morreram. O prejuízo estimado para esse evento alcançou cerca de US\$ 37,5 milhões.

Segundo Mendiondo (2005), nos últimos 100 anos, milhões de pessoas têm sido afetadas, com suas residências, fontes de renda e comunidades danificadas ou destruídas por enchentes. Como exemplo, o autor destaca, comparando com o Produto Interno Bruto (PIB) dos países, os valores das perdas devido às inundações: 5 bilhões de dólares na Argentina e no Brasil, em 1991 (2% do PIB); 3,2 bilhões de dólares na Venezuela, em 1999 (93,3% do PIB); 4 bilhões de dólares em Honduras, em 1998 (100% do PIB).

Mendiondo (2005) salienta que até o ano de 2010 haverá um crescimento dos custos relacionados às enchentes. Os gastos aproximarão a 2 bilhões de dólares por ano, especialmente devido à pobre prevenção ou à contingência dos planos de drenagem.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), no período de 1998 a 1999, vários municípios brasileiros tiveram seus cidadãos atingidos, casas destruídas, pessoas desabrigadas, por consequências causadas pelas inundações urbanas, principalmente na região Sul e Sudeste do país.

Os relatos do Ministério da Tecnologia mostram que o Brasil chega a destinar, para combater os problemas causados devido às inundações, recursos financeiros da ordem de 1 bilhão de dólares anuais (MCT, 2002). Porém, estimativas preliminares realizadas por Macedo et al. (2004) revelaram que no Brasil, de janeiro a março de 2004, as inundações foram responsáveis por gastos com impactos diretos da ordem de 500 milhões de dólares, e indiretos de até 5 bilhões.

Agra e Silva Jr. (1999) destacam que em Maceió, o Distrito Industrial Luiz Cavalcante, localizado no Tabuleiro dos Martins, sofre constantemente com enchentes, prejudicando a população local e as indústrias ali localizadas, gerando prejuízos para a economia alagoana.

Segundo Cruz et al. (2001), o Jornal Zero Hora de Porto Alegre, do dia 10/02/2000, informou que no início daquele ano morreram 20 pessoas vítimas de enchentes no Estado de Minas Gerais. O Jornal Gazeta de Alagoas noticiou que, em Maceió, devido às chuvas ocorridas em julho de 2000, a cidade teve de entrar em estado de emergência e no Estado foram mais de 10 mil desabrigados além de mortos

e desaparecidos levados pela água. Esta tomou conta das galerias e garagens subterrâneas ocasionando o deslizamento de várias encostas. Em Pernambuco, no mesmo período, foram 22 vítimas fatais, 70 mil desabrigados e 30 municípios atingidos, incluindo Recife.

Em análise realizada recentemente, aproximando ainda mais o problema, foi constatado que, no mês de dezembro de 2004, cidades da região central do estado de São Paulo tiveram vários danos causados por inundações urbanas. Em Araraquara, meia hora de chuva intensa foi suficiente para levar transtornos aos moradores. Avenidas inundadas, transbordamento de represas, pessoas ilhadas e acidentes no trânsito foram a rotina do Corpo de Bombeiros e da Polícia Militar, na tarde de quinta-feira, dia 09. As águas chegaram a atingir, em alguns locais, um metro de altura nas residências, levando o caos para as pessoas (TRIBUNA IMPRESSA, 2004a). Na cidade de Matão, a forte chuva que castigou a área central da cidade no dia 20, fez com que o rio São Lourenço registrasse sua segunda enchente do ano, alagando ruas, avenidas e invadindo as lojas (TRIBUNA IMPRESSA, 2004b).

O Jornal Folha de São Paulo (2004) noticiou no segundo dia do ano de 2005 a terceira enchente ocorrida no prazo de 14 dias no município de Ribeirão Preto. As chuvas que voltaram a inundar ruas e residências, há um mês atrás, deixaram a cidade em estado de calamidade pública.

Outro aspecto a ser considerado, principalmente nos países em desenvolvimento, devido à falta de saneamento, é a qualidade da água pluvial escoada pelo sistema de drenagem. A quantidade de material suspenso na água da drenagem pluvial apresenta uma concentração muito elevada considerando a vazão envolvida, sendo esse volume mais significativo no início das enchentes.

A seguir, nas tabelas 04 e 05, é apresentada a mortalidade infantil relacionada às doenças de veiculação hídrica no Brasil e a proporção de cobertura dos serviços de água e saneamento. Já na tabela 06 são apresentados os números de ocorrência totais no Brasil.

Tabela 04 - Mortalidade devido a doenças de veiculação hídrica no Brasil (MOTA e REZENDE, 1999).

	Infecção intestinal		Outras (*)	
Idade	1981	1989	1981	1989
< 1 ano	28.606	13.508	87	19
1 a 14 anos	3.908	1.963	44	21
> 14 anos	2.439	3.330	793	608

Tabela 05 - Proporção de cobertura de serviços, por grupos de renda no Brasil em porcentagem (MOTA e REZENDE, 1999).

Domicílios (Salários mínimos)	Água t	ratada	Coleta de esgoto				
	1981	1989	1981	1989	1981	1989	
0 – 2	59,3	76	15	24,2	0,6	4,7	
2-5	76,3	87,8	29,7	39,7	1,3	8,2	
> 5	90,7	95,2	54,8	61,2	2,5	13,1	
todos	78,4	89,4	36,7	47,8	1,6	10,1	

Tabela 06 - Número de ocorrências totais de doenças no Brasil em 1996 (MS, 1999).

Tipo	Ocorrências
Cólera	1.017
Malária	444.049
Dengue	180.392
Taxa de mortalidade por doenças infecciosas e parasitária por 100.000 habitantes (1995)	≈ 25

A baixa cobertura de água tratada e saneamento básico, verificados na tabela, são os principais responsáveis por doenças do tipo diarréia e cólera. As inundações são responsáveis por doenças do tipo malária e dengue.

### 3.2. Inundações Urbanas

Os eventos de inundações urbanas podem ocorrer devido ao comportamento natural dos corpos d'água ou podem ser ampliados pelo efeito da alteração produzida pelo homem através da expansão urbana, impermeabilizando as superfícies e canalizando os rios.

Desde os tempos antigos, o homem buscou localizar-se próximo aos rios, para desfrutar de suas oferendas como transporte, alimentação, água para consumo e despejo de dejetos, e também pelo fator relevo, mais suave, propício para o assentamento humano. Desde então o ser humano vem convivendo com eventos de inundações, causadas principalmente pelo avanço das águas nas áreas de várzea ocupadas pelas comunidades.

Ignorando os relatos passados da história entre homem e eventos de inundações, o ser humano sempre volta a desafiar a natureza. Exemplos são citados por Tucci (2003), trazendo que em Blumenau, SC e em Porto Alegre, RS a população, depois de presenciar inundações alarmantes, ficou um longo período sem sofrer algum tipo de inundação grave e então, voltou a ocupar as áreas ribeirinhas dos rios.

Retornando ao conceito de inundações, Tucci (2003) enfatiza que quando a precipitação é intensa, superando a capacidade de infiltração do solo, grande parte da chuva transforma-se em escoamento superficial e é direcionada para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de conduzir o volume de água. O excesso que não consegue ser drenado ocupa a várzea, inundando de acordo com a topografía as áreas próximas aos rios. Estes eventos ocorrem aleatoriamente em função dos processos climáticos locais e regionais. Este tipo de inundação é denominado inundação ribeirinha, em que, comenta Lira (2003), os impactos sobre a população são causados pela ocupação inadequada do espaço urbano. Essas condições ocorrem por não existir nenhuma restrição quanto ao loteamento das áreas de risco. A razão para o loteamento dessas áreas pelos empresários é a sequência de anos sem enchentes. Além da invasão das áreas ribeirinhas que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda.

Devido ao processo de desenvolvimento urbano, com a impermeabilização e a ocupação do solo e a construção de redes de condutos pluviais, o escoamento é acelerado e a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta produzindo inundações mais freqüentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava naturalmente. Este tipo de inundação é devido à urbanização (TUCCI, 2003).

Esse tipo de inundação, complementa Lira (2003), também é decorrente da forma desorganizada de expansão urbana, trazendo uma inadequada infra-estrutura, como por exemplo:

- a) Pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento;
- b) Redução da seção do escoamento;
- c) Deposição de resíduos e sedimentos e obstrução de rios, canais e condutos;
- d) Projetos e obras de drenagem inadequadas.

A seguir, Parkinson (2003), na tabela 07, divide em três categorias: a tipologia, as características e os impactos das enchentes sofridas pelas comunidades urbanas devido à crescente urbanização.

Tabela 07 – Tipologia de tipos de enchentes, características e impactos (Adaptado de PARKINSON, 2003).

Tipo	Características e impactos
Tipo A	Enchente causada pela inadequada drenagem do escoamento superficial da água de chuva, com uma frequência elevada de acontecimentos, onde a infra-estrutura de drenagem é muito pobre. Os principais impactos estão relacionados com a deterioração das condições da saúde local. Estão associadas às doenças relacionadas à água.
Tipo B	Enchentes deste tipo ocorrem com menos frequência do que a anterior, mas afetam áreas maiores. Os impactos podem incluir temporária obstrução do sistema de transporte e outros inconvenientes para a vida da cidade. Esses eventos contribuem para a propagação de doenças relacionadas à água e podem causar danos estruturais, mas não tão severos quanto os do tipo C.
Tipo C	Enchentes em larga escala causando destruição difundida e danos afetando as comunidades e os negócios da cidade.  Esses eventos não são freqüentes e alcançam as manchetes devido à escala dramática dos impactos e danos estruturais.

As características e impactos relacionados aos eventos do tipo A podem ser associadas às inundações devido à urbanização e seus efeitos, principalmente ao considerar a infra-estrutura inadequada do sistema de drenagem. Já os eventos associados aos tipos B e C, pelas características reveladas na tabela, com eventos de menor frequência e atingindo grandes áreas, podem ser relacionadas às inundações do tipo ribeirinhas.

A bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, na cidade de São Carlos – SP sofre, frequentemente, com enchentes que atormentam os moradores e comerciantes da região central da cidade. Essas inundações são causadas pela precária drenagem local e intensa impermeabilização da área, caracterizando o tipo A, da tabela anterior.

#### 3.2.1. A Expansão Urbana e as Inundações

O processo de urbanização acarreta profundas modificações no uso e ocupação do solo causando interferências significativas nas respostas hidrológicas dessas áreas, destacando-se a diminuição da infiltração e do armazenamento da água e consequentemente o aumento do escoamento superficial.

O "explosivo" crescimento urbano mundial e seus problemas agregados constituem, para os grandes aglomerados urbanos, uma das temáticas mais importantes do nosso tempo, sendo considerada um fenômeno recente da nossa história.

No ano de 1800, apenas 1% da população vivia nas cidades. Desde meados do século XVIII, como efeito associado à Revolução Industrial, a urbanização cresce num ritmo cada vez mais acelerado. Atualmente, a população mundial é de aproximadamente 6.100 milhões de habitantes, enquanto que a população urbana alcança a marca de 2.850 milhões, significando 47% do total (BERTONI & TUCCI, 2003). A tabela 08 mostra a evolução da população urbana no período de 1955 a 2015 e observa-se que, em pouco tempo, pela primeira vez, o número de habitantes das cidades superará o das zonas rurais.

Tabela 08 – Evolução da população urbana mundial, de 1955 a 2015 (FNUAP, 2004).

Ano	1955	1975	1995	2015
% do total	32	38	45	54

Ainda, segundo Bertoni & Tucci (2003), o prognóstico é que por volta do ano 2010 existirão, no mundo, aproximadamente cerca de 60 cidades com população superior a 5 milhões de habitantes, sendo a maioria em países em desenvolvimento. Nas tabelas a seguir, observa-se, atualmente, as cidades mais populosas do mundo e as porcentagens de urbanização na América do Sul.

Tabela 09 - Maiores cidades do Mundo (WORLD BANK WDI, 1999).

Cidade	População (milhões de habitantes)
Tóquio	27,8
Bombay	18,0
São Paulo	17,8
Shanghai	17,0
New York	16,6
Cidade do México	16,3
Pequim	14,2
Yakarta	14,0
Lagos	13,5
Los Angeles	13,0

Tabela 10 – Urbanização na América do Sul (WORLD BANK WDI, 1999).

País	População urbana (milhões de habitantes)		Porcentagem do total	
	1980	1997	1980	1997
Argentina	23,3	31,6	83	89
Bolívia	2,4	4,8	42	62
Brasil	80,5	130,1	66	80
Chile	9,0	12,3	81	84
Colômbia	18,2	29,4	64	74
Equador	3,7	7,2	47	60
Paraguai	1,3	2,7	42	54
Peru	1,2	17,5	65	72
Uruguai	2,5	3,0	85	91
Venezuela	12,0	19,7	79	86

No Brasil, o processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada. Em 2001 a proporção da população urbana brasileira era de 83% e, atualmente, existem pelo menos 12 cidades com mais de 1 milhão de habitantes. Em alguns estados brasileiros, a característica de crescimento urbano é semelhante a de países desenvolvidos, como, por exemplo, São Paulo, onde 91% da população é urbana (TUCCI et al., 2003).

As tabelas 11 e 12, a seguir, indicam o crescimento da população urbana no Brasil nas últimas décadas e o crescimento populacional das cidades, tanto na região metropolitana, como em suas periferias.

Tabela 11 – Crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização (IBGE\* apud TUCCI et al., 2003)

Ano	População (milhões de habitantes)	Parcela da população urbana (%)
1970	93,1	55,9
1980	118,0	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2005	175,1	79,0
2015	192,7	80,0

Tabela 12 - População e crescimento das principais cidades brasileiras (IBGE\* apud TUCCI et al., 2003)

Cidade	População em 1996 (milhões de habitantes)	Crescimento entre 91 e 96 (%)	Crescimento da periferia entre 91 e 96 (%)
São Paulo	16,667	2,0	16,3
Rio de janeiro	10,532	1,3	7,1
Belo Horizonte	3,829	3,5	20,9
Porto Alegre	3,292	2,0	9,4
Recife	3,258	3,7	7,4
Salvador	2,776	6,6	18,1
Fortaleza	2,639	11,1	14,7
Curitiba	2,349	12,3	28,2
Belém	1,629	-8,1	157,9

<sup>\*</sup>IBGE (1998). Anuário Estatístico do Brasil. – 1997. IBGE, Rio de janeiro. apud TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J.; GERMANO, A. (2003). Brasil. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Parte II: Inundações e Drenagem Urbana nos Países da América do Sul. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2003.

O crescimento das regiões periféricas mostra a nova tendência de ocupação, com a população buscando novas localidades, as cidades de médio porte. Com populações variando entre 100 e 500 mil habitantes, essas cidades começam a sofrer os mesmos processos inadequados de urbanização e impactos ambientais observados anteriormente.

A bacia hidrográfica, seu rio principal e afluentes, têm sua dinâmica natural profundamente alterada quando submetida ao processo de crescimento urbano acelerado.

Superficies impermeabilizadas e a construção de canais para a condução mais rápida do escoamento pluvial são as maiores causas das inundações urbanas devido à tradicional estrutura urbana, sem visões para o meio ambiente.

Oliveira (1998) alerta para as alterações impostas ao solo pela urbanização. A intensa impermeabilização para diferentes usos, seja para pavimentação de calçadas e quintais, asfaltamento de rua, ou construção de edificios, promove condições que dificultam a sobrevivência da fauna e flora, sendo ainda responsável pela intensificação do escoamento superficial direto e consequentes inundações de áreas vinculadas aos vales fluviais.

Os problemas de drenagem nas cidades são reforçados pelo inadequado desenvolvimento de mecanismos de controle e suas imposições incompetentes, em que poucas considerações são dadas ao sistema de drenagem. A mais atingida é a população pobre, residindo em edificações informais localizadas sobre solos em marginais de rios, planícies de inundações ou encostas de morros, lugares não desejados pela especulação imobiliária.

Oliveira (1998) salienta que algumas das alterações mais prejudiciais impostas pela urbanização são aquelas que provocam a retificação dos cursos fluviais, impermeabilizam o solo e promovem a destruição da cobertura vegetal, sendo essa responsável pela proteção do solo contra erosão e pelo balanço nos processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial.

Juntamente com as alterações quantitativas dos corpos d'água, devido à urbanização, estão as alterações qualitativas, visto que a maioria dos dejetos da cidade é direcionada para estes; intensifica-se a produção de sedimentos por obras realizadas no meio urbano acelerando o processo de assoreamento dos leitos dos rios;

devido à deficiência da maioria dos sistemas de coleta, aliada à falta de educação ambiental da maioria da população, grande quantidade de lixo sólido acaba chegando aos mananciais (CRUZ et al., 2001).

Os aspectos quantitativos e qualitativos da água urbana estão interligados, pois durante o acontecimento das tormentas, o lixo arrastado pelas ruas acaba por obstruir as "bocas de lobo" e as galerias pluviais, além de provocar o assoreamento de seções muito largas dos canais nas cidades, ampliando os efeitos das enchentes localizadas e a ocorrência de doenças entre os atingidos pelas cheias.

Segundo Ostrowsky (2001), o lançamento de resíduos nos rios, nas ruas e nas áreas públicas pela população, é uma constante em nossas cidades, atitudes não necessariamente relacionadas com a renda ou nível social. Todos os atores sociais e de órgãos públicos são responsáveis. Porém, onde existe sistema de coleta mais eficiente, renda para a compra de sacos de lixo e outros fatores, como em bairros de classe com rendas mais elevadas, ocorre menos casos de lançamentos de resíduos nas ruas.

Ainda, segundo Ostrowsky (2001), historicamente, em locais onde a população possui renda mais elevada, os córregos são, geralmente, canalizados e tamponados. Já, nos locais onde habita a classe de baixa renda, os córregos são mantidos a céu aberto, facilitando o lançamento de resíduos e também devido, comumente, às construções, feitas a suas margens e, da janela, pode ocorrer o arremesso, às escondidas. As indústrias implantadas na beira de corpos d'água também são responsáveis pelo lançamento de resíduos e outros materiais. Não existe fiscalização, policiamento ou multas para essa prática e a quantidade de lixo chegando aos rios por habitante, transforma-se numa quantidade diária extraordinária.

Porto et al. (2001) mostram, por meio da tabela 13, os principais efeitos da urbanização sobre as inundações.

Tabela 13 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas. (PORTO et al., 2001).

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores picos e vazões
Rede de drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água Entupimentos de bueiros e galerias
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações: conseqüências mais sérias
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes Mais erosão Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos Maiores picos Maiores custos de utilidades públicas

Porto et al. (2001) advertem que a urbanização também traz consequências não hidrológicas que interferem significativamente na drenagem urbana, principalmente quando consideradas as condições brasileiras das últimas décadas, marcadas pelo crescimento acelerado e caótico das populações urbanas. Os impactos mais importantes são citados a seguir.

Consequências sobre a ocupação do solo: a) Proliferação de loteamentos executados sem condições técnicas adequadas; b) Ocupação de áreas impróprias (principalmente várzeas de inundação e cabeceiras íngremes); c) Proliferação de favelas e invasões; e d) Ocupação extensa e adensada dificultando a construção e canalizações e eliminando áreas de armazenamento.

Consequências do comportamento político e administrativo: a) O crescimento acelerado acirra a disputa por recursos entre os diversos setores da administração urbana e faz prevalecer a tendência de atuar corretivamente em pontos isolados; b) Medidas para disciplinar a ocupação do solo são dificultadas por conflitos de interesses; e c) Políticas de médio e longo prazos são invariavelmente relegadas a segundo plano.

O que se verifica é a ocupação da bacia hidrográfica acontecendo no sentido de jusante para montante, respeitando as menores declividades do terreno. À medida

que o processo de ocupação aumenta, a população tende a migrar para os solos à montante e quando, na maioria das vezes, o poder público não controla a ocupação das cabeceiras da bacia, com a impermeabilização a frequência das enchentes à iusante aumenta consideravelmente.

A relação entre o desenvolvimento da urbanização e a ocorrência de inundações pode ser observada na figura 01, onde Baptista et al. (1997) fornecem dados da população e a frequência de ocorrência de eventos de inundações na cidade de Belo Horizonte, em um período de 56 anos (1928 a 1984).

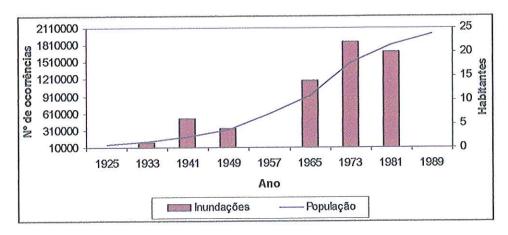


Figura 01 – Evolução do crescimento populacional e eventos de inundação (BAPTISTA et al., 1997).

Para analisar os efeitos do crescimento urbano, Ellis et al\*. apud Barbassa (1991) estudaram uma bacia urbana em Denver, no estado do Colorado, EUA. Esta bacia sofreu grandes transformações entre os anos de 1977 a 1980, como um aumento na área impermeável de 29% para 50%, devido, principalmente, à construção de edificios. A avaliação desenvolveu-se simulando essas alterações com chuvas ocorridas em 1977 e 1980 e o efeito notado foi o aumento no volume escoado de 10%, creditado, principalmente, para o aumento da área impermeável.

<sup>\*</sup>ELLIS et al. (1983). Effects of Increased Urbanization on the Storm Runoff from a Small Urban Basin in Metropolitan Denver, Colorado. International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. University of Kentucky, July 1983. apud BARBASSA, A.D. (1991). Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial na Cidade de São Carlos/SP. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo.

Baptista et al. (1997) concordam que com o desenvolvimento urbano surge, também, o crescimento das impermeabilizações e consequentemente os aumentos nos volumes escoados e as alterações nos hidrogramas de cheias. Porém, esse desenvolvimento por si não conduziria forçosamente a esse quadro crítico atual. Com um tratamento mais adequado, com um planejamento integrado urbanismodrenagem, os efeitos da urbanização poderiam ser minorados, através da adoção de medidas mitigadoras ou, ao menos, levados em consideração quando do dimensionamento das estruturas de drenagem.

#### 3.2.2. Controle das Inundações Urbanas

O controle das inundações urbanas pode basear-se sob duas vertentes: a adoção de medidas estruturais, modificando fisicamente o sistema fluvial, e a adoção de medidas não-estruturais, onde as pessoas melhor convivem com as enchentes reduzindo os prejuízos. Tucci (2003) alerta que é ingenuidade do homem imaginar que poderá controlar totalmente as inundações, as medidas atuam minimizando as suas conseqüências.

A combinação do uso de medidas estruturais e não estruturais é considerada aspecto complementar de uma compreensiva e integrada estratégia de gerenciamento das inundações.

#### a) Estratégia de gerenciamento utilizando medidas estruturais

As estratégias de gerenciamento utilizando medidas estruturais são focadas sobre intervenções físicas, tanto no rio (medidas intensivas), acelerando o escoamento superficial pela diminuição da rugosidade, aumento da declividade, aprofundamento do canal, ou ainda pela construção de reservatórios de armazenamento que reduzem a vazão natural, quanto na bacia (medidas extensivas), modificando as relações entre precipitação e vazão, na tentativa de tornar mais eficiente o sistema de drenagem pluvial.

Atualmente, de acordo com Tucci e Marques (2001), as medidas de controle adotadas nas áreas urbanas brasileiras tanto para as áreas ribeirinhas quanto para os efeitos devido à urbanização, têm sido realizadas de forma equivocada com sensíveis prejuízos para a população. Medidas apenas de caráter estrutural, com obras de engenharia que, na maioria das vezes, apenas transfere o problema agravado para a jusante.

#### b) Estratégias de gerenciamento utilizando medidas não-estruturais

As estratégias de gerenciamento utilizando medidas não-estruturais atuam na fase de planejamento do sistema de drenagem utilizado e são focadas em ações preventivas e confiam predominantemente sobre as mudanças no ordenamento das ações relativas à expansão urbana para tornarem-se efetivas. Essas estratégias, tanto para prevenção e gerenciamento das enchentes como para mitigação de problemas com a saúde ambiental, são sumarizadas e descritas por Faisal et al. (1999) na tabela 14.

Tabela 14 – Estratégias não-estruturais para controle de enchentes e mitigação de problemas de saúde ambiental (FAISAL et al., 1999).

Inundações		
Prevenção	Responsabilidade preventiva com o objetivo	
	de assegurar que os problemas com enchentes	
	serão evitados	
Mitigação	Responsabilidade imediata de alerta de enchentes antes	
	das mesmas, e atuação em ações a serem realizadas	
	durante uma enchente para reduzir riscos	
Recuperação	Ação a ser realizada após o evento da enchente para	
Recuperação	as comunidades recuperarem-se dos impactos causados	
Saúde Ambiental		
Gerenciamento de	Controle de resíduos sólidos para evitar bloqueio e	
resíduos sólidos	redução na capacidade hidráulica do sistema de	
	drenagem	
Mitigação da	Redução nas descargas de poluentes no sistema de	
poluição		
Controle de	Crescentes práticas para redução de vetores que	
vetores	transmitem doenças relacionadas à drenagem urbana	
	e enchentes	

As medidas não estruturais alicerçam-se em um caráter preventivo e disciplinador e buscam no gerenciamento do uso do solo, o seu principal objeto de análise, contemplando a ocupação do espaço urbano dentro de normas legais préestabelecidas e critérios de usos que considerem a dinâmica do meio físico e a forma de estruturação do urbano em um sistema hidrográfico (OLIVEIRA, 1998).

Complementando, Queiroz (1996) defende o ideal de que a percepção de um plano de controle de drenagem pluvial parte de um disciplinamento do uso do solo urbano. As leis de zoneamento, parcelamento e loteamento, código de obras municipais são o suporte para o gerenciamento das águas pluviais urbanas. A compreensão de medidas corretivas de controle, as quais implicam custos monetários elevados e impactos ambientais, deve ser substituída por uma prática preventiva.

A educação ambiental também faz parte desse conjunto indissociável representado pelas ações integradas não-estruturais contra os danos causados pelas cheias urbanas, buscando não apenas a mudança da imagem do rio, mas também a mudança de postura dos envolvidos no assunto, sejam eles governo, técnicos ou moradores.

Para Ostrowsky (2001), a educação ambiental relaciona-se com a recuperação de valores éticos, estéticos e espirituais da sociedade como um todo e com sua reaproximação com a natureza. Devem-se compreender os fenômenos naturais e as relações de causa e efeito atuantes no espaço que, juntamente, com o decorrer do tempo, condicionam a possibilidade de um juízo crítico no homem sobre seu desempenho atuando nas condições ambientais em seu espaço de atuação.

Com a mesma filosofia, Parkinson (2003) reforça a idéia de que para as autoridades urbanas começarem a solucionar os problemas relacionados com as enchentes e o meio ambiente urbano, é importante que eles adotem um plano estratégico de desenvolvimento e implementação, considerando a combinação de medidas estruturais e não-estruturais de estratégias de gerenciamento das águas urbanas.

Verificada a ineficiência da aplicação apenas de ações estruturais de controle, nos dias de hoje, muitos trabalhos vêm sendo realizados evidenciando a eficiência da implantação de medidas não estruturais de controle às enchentes.

Segundo Tucci (2003), para o planejamento do controle da bacia num primeiro estágio de urbanização, pode-se utilizar o seguinte:

- Regulamentação do uso e ocupação do solo, pelo poder público, das áreas naturalmente inundáveis;
- Combinação das áreas acima para atuarem como bacias de detenção urbana;
- Regulamentação da micro-drenagem para não ampliar a enchente natural;
- Utilização de parques e as áreas mencionadas anteriormente para amortecer e preservar os hidrogramas entre sub-bacias;
- Prever subsídios de impostos para as áreas de inundações e a troca do solo criado pela compra de áreas inundáveis.

Quando a bacia já se encontra num estágio mais avançado de urbanização será predominante o uso de medidas estruturais de controle de enchentes, com custos elevados.

### 3.3. Drenagem Urbana

Com a esperança de minimizar os efeitos negativos da urbanização para as águas urbanas a engenharia lança mão de técnicas para atenuação dos efeitos das enchentes nas cidades. Pompêo (2000) propõe duas questões para orientar a aproximação ao tema.

- Quais as causas das enchentes em áreas urbanas?
- O que significa a drenagem e o controle de cheias em áreas urbanas?

As enchentes são causadas basicamente por chuvas intensas com longos períodos de retorno, ou devido a mudanças no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas, ou também devido à própria urbanização.

Com base nas causas das inundações estabelece-se então o conceito de drenagem e controle de cheias e consequentemente a base conceitual dos princípios que orientam as ações.

#### 3.3.1. Drenagem Urbana Atual

De acordo com Tucci (2002), a remoção das águas pluviais em excesso de maneira mais eficiente possível foi, até hoje, o objetivo principal da drenagem urbana, evitando transtornos e prejuízos para a população. Com esse enfoque, as ações se concentraram na execução dos projetos dessas medidas chamadas estruturais.

Tradicionalmente, as cidades mantiveram por anos a idéia de drenagem urbana como um conjunto de obras de engenharia na macro e micro-drenagem visando melhorar as condições de escoamento de forma a atenuar os problemas de erosão, assoreamento e inundação ao longo dos principais corpos d'água.

Porém, esse sistema de drenagem, baseado em medidas de controle e condução do escoamento das águas pluviais geradas no meio urbano até um emissário final, apenas transferindo o problema para a jusante, de acordo com experiências nacionais e internacionais, por si só não soluciona de modo eficaz e sustentável os problemas mais complexos da drenagem urbana, além de ser bastante oneroso.

Essa filosofia que considera apenas a eficiência hidráulica do sistema, sem pensar em aspectos ambientais, estéticos, de convívio da comunidade com os corpos d'água, em conjunto com um sistema de coleta e tratamento de resíduos e esgotos domésticos ineficientes, provoca a degradação da qualidade da água no meio urbano e os corpos d'água se tornam grandes canais de escoamento de lixo e esgoto (CRUZ et al., 2001). Canais que são escondidos com a justificativa de aproveitar o máximo espaço possível, transformando-se em galerias, em beneficio das construções das chamadas avenidas sanitárias.

Para Cruz et al. (2001), esse tipo de desenvolvimento é realizado tanto pelo poder público, de forma oficial, quanto pelo desenvolvimento "natural" das chamadas cidades não-oficiais (favelas e loteamentos clandestinos). Exemplos são a máxima ocupação do espaço (cidade não-oficial) e a canalização de um corpo d'água por parte do poder público, oficializando a ocupação deste espaço.

Esse sistema de drenagem surgiu a partir do século XVIII e atualmente está verificado que é responsável pela degradação ambiental das áreas passivas à sua

aplicação, sendo também considerado um sistema que necessita de investimentos muito elevados. Com isso torna-se necessária a requisição, pela sociedade, de um sistema mais adequado econômica, social e ambientalmente, abandonando a utilização e difusão do antigo.

## 3.3.2. Drenagem Urbana Sustentável

Atualmente, o conceito de drenagem urbana ampliou o campo da engenharia e tornou-se um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos. Esse termo é entendido, num sentido mais amplo, como um conjunto de medidas que objetivam minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados pelas inundações e possibilitar um desenvolvimento urbano harmônico, articulado e sustentável (TUCCI, 2002).

O gerenciamento integrado do espaço urbano é a principal premissa, na qual se baseia a drenagem urbana sustentável, ou seja, além da preocupação contra inundações, deve-se atentar para o melhoramento da qualidade de vida pela produção da aparência aquática, criando cortesia urbana na cidade. Pompêo (2000) traduz esse pensamento sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental, introduzindo uma nova forma de direcionamento das ações, baseando-se nas relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade.

Marslek e Chocat (2002) trazem uma nova visão sobre o gerenciamento das águas urbanas em busca de uma drenagem sustentável, com as seguintes ações propostas:

- Desenvolver os sistemas de drenagem em um ambiente sustentável, preservando o balanço hídrico e impedindo o lançamento de sedimentos e poluentes;
- Enfatizar o controle na origem, reduzindo ou mesmo preservando a geração do escoamento e da poluição. Em áreas já estabelecidas, este princípio é aplicado durante seu re-desenvolvimento;

- Alterar as infra-estruturas dos sistemas de drenagem pluvial antigos, apenas com a adoção de canalizações, para sistemas novos, ambientalmente amigáveis;
- Criar agências dedicadas à operacionalidade dos novos sistemas de gerenciamento, preferencialmente operando integralmente com as autoridades locais. Nesse sistema promove-se uma "mistura" entre a participação pública e o setor privado, com a finalidade de encontrar a melhor combinação de medidas para atuar nas condições locais;
- Garantir o progresso do gerenciamento através da realização de pesquisas e desenvolvimento do conhecimento;
- Inserir a drenagem urbana no cotidiano dos moradores. Manter o público ciente do assunto e promover a educação e a participação de todos com relação ao gerenciamento da drenagem.

Hoje, atingir uma drenagem urbana sustentável é muito difícil, pois para Costa Junior (2003), existe atualmente uma incompatibilidade muito elevada entre a ocupação do meio urbano e os sistemas de drenagem. Butler & Parkinson (1997) traz a idéia de sistemas de drenagem "menos insustentáveis", em que o processo de gerenciamento da drenagem urbana se pauta em medidas diversificadas, utilizando técnicas e tecnologias estruturais e não estruturais.

Para isso, Butler & Parkinson (1997), defendem a aplicação de medidas estruturais e não estruturais no controle do escoamento superficial na fonte geradora, buscando reduzir as vazões que são ampliadas devido ao processo de ocupação do solo, através de técnicas de retenção, detenção e infiltração.

Nos países em desenvolvimento, os fatores sócio-econômicos dificultam ainda mais a modernização dos sistemas de drenagem urbana, atrasando a solução dos problemas. Na tabela 15, Silveira (2002) mostra alguns fatores específicos da inibição da drenagem urbana em países em desenvolvimento.

Tabela 15 – Fatores específicos da inibição da modernização da drenagem urbana em países em desenvolvimento (Adaptado de SILVEIRA, 2002)

Fatores	Características
Interesse pelo meio ambiente	muito abaixo do esperado
Desenvolvimento urbano legal ou clandestino	sem controle efetivo
Qualidade do escoamento superficial	altamente contaminado
Sedimentos urbanos e resíduos	grandes quantidades transportadas pelo escoamento superficial
Clima	riscos crescentes de epidemias
Conhecimentos em engenharia	falta de interesse
Relação população-administradores	carência de interação para procurar soluções

Das Neves e Tucci (2003) lembram de que nos países em desenvolvimento se pratica a fase sanitarista da drenagem, fruto das difíceis condições sócio-econômicas e tecnológicas enfrentadas pelo desenvolvimento urbano, enquanto que, nos países desenvolvidos, hoje, se pratica a etapa ambientalista da drenagem urbana.

#### 3.3.2.1. Desenvolvimento sustentável

Segundo Souza (2000), o Relatório Brundtland menciona que o objetivo do desenvolvimento sustentável é um novo estilo de desenvolvimento, assim definido: "desenvolvimento que satisfaça as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades".

Para Elliott\* apud Souza (2000), este desafio está em assegurar que as relações (econômicas, políticas e sociais) entre os elementos do sistema (pessoas e lugares) sejam voltadas, com a mesma atenção, tanto para o crescimento econômico como para a conservação do meio ambiente, possibilitando o uso adequado dos

<sup>\*</sup>ELLIOTT, J.A. (1994). An Introduction to Sustainable Development. New York. Routledge, 1994. apud SOUZA, M.P. (2000). Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática. São Carlos. Riani Costa.

recursos, a fim de que não haja desperdícios, degradação nem poluição, e a distribuição equitativa dos resultados obtidos.

Expressando a dificuldade de se implantar os ideais do desenvolvimento sustentável, Andrade (1994) menciona que os interesses políticos e econômicos, que ocupam os territórios, são os grandes responsáveis pela degradação ambiental, e essa é mais ou menos intensa dependendo dos objetivos da política que orienta essa ocupação, que é formada pelo governo e pelos interesses do modo de produção vigente.

Os conceitos de desenvolvimento sustentável e ecodesenvolvimento são considerados sinônimos e define um estilo particular para as regiões rurais dos países em desenvolvimento cresçam promovendo e incentivando o uso racional dos recursos naturais, com o objetivo de promover sua conservação ao longo do tempo.

O conceito de sustentabilidade defende a idéia de manutenção de nosso sistema de suporte à vida. Um comportamento que obedece e respeita as leis da natureza e que basicamente, trata-se do reconhecimento do que é biofisicamente possível, em uma perspectiva em longo prazo (SOUZA, 2000).

Para alcançar o princípio da sustentabilidade é necessária a abordagem de outras dimensões além da econômica, são elas: social, ecológica, espacial e cultural.

A implantação dos sistemas de drenagem na estrutura de planejamento do espaço urbano deve abordar essas várias dimensões que dão suporte à sustentabilidade ambiental, principalmente, segundo Lira (2003), a ecológica, econômica e social.

## 3.3.2.2. Capacidade de Suporte

Em busca de sustentabilidade, é de fundamental importância para evitar a degradação da qualidade ambiental, tomar posse de informações a respeito das especificidades locais e da capacidade de suporte do meio ambiente em questão.

Souza (2000) destaca a importância de conceituar o que se entende por capacidade de suporte ambiental para aplicar, na prática, a caracterização ambiental e da atividade e o conceito de sustentabilidade. Para o autor, uma conceituação aceita é

de que a capacidade de suporte ambiental pode ser entendida como a capacidade de acomodação, assimilação e incorporação dos ambientes, para um conjunto de atividades antrópicas, sem causar alterações nas suas funções naturais em termos de produtividade primária propiciada pela biodiversidade, e, ainda assim, proporcionar para a população desses ambientes, padrões de qualidade de vida aceitáveis, viáveis ambientalmente.

Na drenagem urbana, em termos quantitativos, pode-se considerar como capacidade de suporte local, a vazão máxima suportada pelo canal em uma determinada seção de interesse. Essa vazão máxima suportada será de grande importância para eventuais estudos sobre intervenções no canal, e respeitando-a estarão evitando problemas tanto para o corpo d'água como para a população da região.

Embora o regime de inundações e extravasamentos do canal principal seja um processo natural do comportamento de um rio, toda ação que leve a aumentar a capacidade de extravasamento pode ser considerada que afeta o regime normal.

## 3.3.2.3. Drenagem urbana na cidade sustentável

Um dos objetivos primários dos sistemas de drenagem urbana é conduzir as águas pluviais, para que elas não ofereçam nenhum tipo de problema para as habitações humanas.

A perspectiva do desenvolvimento sustentável aplicado aos sistemas de drenagem urbana orienta para um novo conjunto de ações, baseadas na complexidade hidrológica do ambiente natural, nos impactos causados pelo ambiente urbano e o bem estar da sociedade. Esta postura exige uma reconceitualização em termos técnicos e gerenciais para o sistema atual.

Para isso, na cidade sustentável, o planejamento das atividades urbanas relacionadas à água deve estar integrado ao próprio planejamento urbano, incluindo aqui o desenho da malha urbana e sua expansão, o zoneamento de atividades, a rede viária e de transportes, fluxos de informações, aspectos paisagísticos, etc. (POMPÊO, 2000). Ellis (1995) relaciona os resultados como beneficios econômicos, estéticos,

ecológicos, recreacionais e aprimoramento do potencial de uso da terra. Assim, a integração institucional deve ser reflexo de uma concepção ambiental sistêmica.

É também neste sentido, que Vaz Filho (2000) destaca as várias inter-relações existentes nos sistemas adequados de drenagem de águas superficiais. O bom funcionamento desse sistema depende do perfeito relacionamento entre ele e outros subsistemas, ilustrados na figura 02.

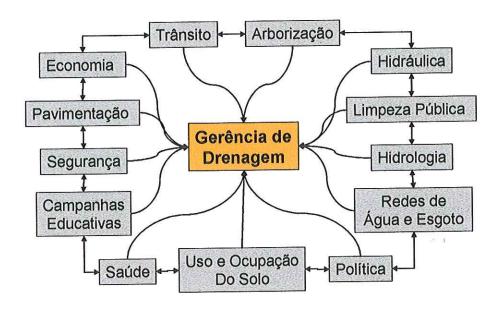


Figura 02 – Gerenciamento da drenagem e suas inter-relações (VAZ FILHO, 2000).

Tucci (2003) exemplifica, a seguir, algumas dessas inter-relações:

- O abastecimento de água é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos;
- A solução de controle da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto cloacal e suas características;
- A limpeza das ruas, a coleta e disposição de resíduos sólidos interferem na quantidade e na qualidade da água dos pluviais.

Segundo Ellis (1995), a engenharia natural é particularmente efetiva onde o sistema de escoamento superficial pode ser integrado com uma paisagem local ou com desenvolvimentos "azul e verde", desenvolvimentos usando lagos, vegetação

aquática, áreas verdes, etc. A recente adoção da ecotecnologia para a engenharia de rios urbanos tem sido acompanhada por uma crescente conscientização pública. As pessoas vêm adquirindo "idéias limpas" do que eles consideram serem cursos d'água "atrativos" ou "poluídos", tão bem como preferências para tipos particulares de aspectos para o corredor verde ao longo do rio.

Neste contexto, a participação da sociedade torna-se essencial para a montagem completa do sistema, baseado nas premissas da sustentabilidade e conferindo aos cidadãos a atitude de preocupação com um bem público, atuando na concretização dos valores da cidadania.

Em busca de caminhos para o desenvolvimento, Aguiar e Aguiar (1998) destacam a relação entre cultura e tecnologia e destaca que a essa tecnologia deve ser socialmente sustentável, o que implica na participação democrática da sociedade nas tomadas de decisão e na execução das ações. Evidentemente esta postura é eminentemente política, porém é importante lembrar o papel da educação ambiental na construção de um desenvolvimento nos moldes sustentáveis.

#### 3.3.2.4. A colaboração das áreas verdes

A cobertura vegetal exerce funções importantes na bacia hidrográfica. Tricart e Kilian (1982) destacam uma delas, o equilíbrio no balanço hídrico, nos processos de evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial.

A bacia revestida por uma cobertura vegetal possibilita que as águas das chuvas, sejam interceptadas pela copa das árvores no extrato superior. Ao haver outros extratos, a energia da água é dissipada gradativamente até chegar ao solo. Essas águas favorecem tanto os processos de evapotranspiração das gotículas retidas nas folhagens, como o processo de infiltração das águas que chegam, diretamente das folhas ou pelos troncos, e infiltram-se no solo (OLIVEIRA, 1998). Quando da ocorrência de destruição da cobertura vegetal, o solo fica exposto ao aumento da energia do escoamento do fluxo superficial e conseqüente dinamização dos processos plúvio-erosivos. Ocorre, então, o carreamento de sedimentos para os cursos fluviais, provocando assoreamento, alargamento e redução da profundidade dos canais.

Quando as superfícies de escoamento sofrem processos de degradação e são impermeabilizadas, diminui-se a rugosidade vinculada à vegetação antes ali existente e a velocidade de translado do escoamento na bacia aumenta consideravelmente, diminuindo o tempo para as águas chegarem aos canais, implicando em aumento de vazões e volumes.

Para Motta (1980), os solos urbanos não representam suas características naturais de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, em decorrência da ação antrópica que atua sobre seus usos. Ações como escavações, aterros, compactação, impermeabilizações e outras práticas que alteram consideravelmente as condições de infiltração da água no solo, aumentam o volume e a velocidade do escoamento superficial (figura 03).

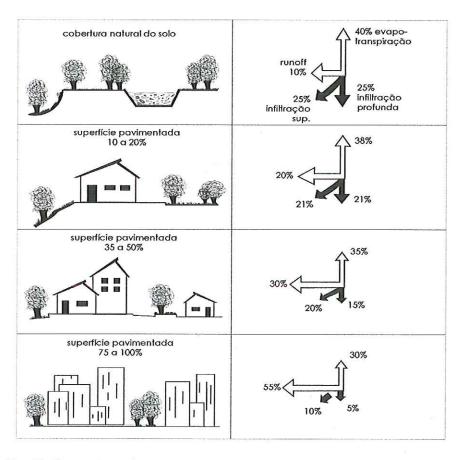


Figura 03 – Reflexos da retirada da cobertura vegetal pela expansão urbana sobre os processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial (MOTTA, 1980).

A regeneração e a manutenção da biodiversidade são práticas crescentemente adotadas com objetivos de restauração ecológica e gerenciamento ambiental das superfícies de escoamento, altamente impactadas pela expansão urbana.

O principal mecanismo usado para buscar uma diversidade sustentável nos habitats e processos dentro de uma bacia é a incorporação desse ideal nos projetos de restauração devotados à recuperação e/ou manutenção da biodiversidade (HENRY & AMOROS, 1995).

Para Amoros (2001), durante a última década emergiram dois princípios gerais aplicados à restauração ecológica dos sistemas fluviais e agregados. Primeiro, o retorno a um ecossistema anterior aos impactos da atividade humana, semelhante a uma restauração ideal, que nasce impossibilitado devido às alterações nas condições ambientais atuais na escala da bacia. Segundo, um processo de restauração orientada, com espécies orientadas, estimulando o aumento da auto-sustentabilidade do ecossistema. Consequentemente, a restauração deveria, primeiramente, promover a dinâmica hidrogeomorfológica, aplicando-se, para isso, restrições sócio-econômicas, para depois, deixar que a natureza exerça o trabalho sozinha.

Essas medidas atuarão no aumento da diversidade dos habitats no ecossistema, interferindo principalmente nas características físicas do canal, na velocidade do escoamento e no substrato do leito, trazendo benefícios quantitativos e qualitativos para o rio.

Ellis (1995) comenta que a aplicação desses princípios é determinada pelo ambiente local: chuvas, bacia hidrográfica e características dos usos do solo. Ela defende que os componentes físicos e biológicos dessas medidas, que objetivam a atenuação do escoamento e a melhoria da qualidade ambiental das águas, podem ser obtidos quando requerida uma área reservada para a drenagem, um corredor para o rio.

A busca pela manutenção ou o retorno das áreas de várzea significa a volta de benefícios das funções que elas exercem. Lima (1989) cita-os a seguir:

 Diminuição e filtragem do escoamento superficial que impede ou dificulta o carreamento de sedimentos para o sistema aquático, contribuindo, desta forma, para a manutenção da qualidade da água nas bacias hidrográficas;

- 2) Tampão e filtro entre os terrenos mais altos e o ecossistema aquático, participam do controle do ciclo de nutrientes na bacia hidrográfica, através da ação tanto no escoamento superficial, quanto na absorção de nutrientes do escoamento subsuperficial pela vegetação ciliar;
- Estabilização da área crítica que são as ribanceiras do rio, pelo desenvolvimento e manutenção de um emaranhado radicular;
- 4) Integração com a superfície da água que proporciona cobertura e alimentação para peixes e outros componentes da fauna aquática;
- 5) Interceptação e absorção da radiação solar, contribuindo para a estabilidade térmica dos pequenos cursos de água.

Entretanto, segundo Oliveira (1998), as áreas de várzea sofrem, pela ocupação antrópica, contínuas degradações que interferem na dinâmica natural das cheias e alteram todo o processo estabelecido pelas leis naturais. O correto disciplinamento do uso do solo dessas áreas deve contemplar, evidentemente, um percentual significativo de áreas permeáveis.

## 3.4. A Preocupação com a Drenagem Urbana

O escoamento das águas pluviais em áreas urbanas, já há algum tempo, vem recebendo uma atenção mundial dos especialistas, por uma variedade de razões, incluindo interesses a respeito dos impactos sobre as inundações e qualidade da água e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Essa atenção dirigida considera, ainda, as condições locais com respeito ao clima, desenvolvimento econômico, práticas de proteção ambiental, planos institucionais e responsabilidades públicas, significando o abandono à expansão tradicional dos sistemas de drenagem urbana, com soluções "end-of-pipe" de altos custos e ineficientes.

É nesse sentido que os países desenvolvidos vêm adotando um sistema de gerenciamento integrado para as águas urbanas, denominado *StormWater Management* (SWM).

O SWM foi projetado para mitigar os impactos adversos da urbanização sobre a drenagem urbana, influenciando muitas outras importantes questões sobre a água urbana, incluindo proteção do escoamento, gerenciamento do suprimento de água, qualidade da água subterrânea, gerenciamento do tratamento de águas residuárias e outros (FUJITA, 1998).

Para Marsalek e Chocat (2002), devido a essa natureza especial de combinar tecnologia, políticas ambientais e urbanas e a participação pública, o SWM vem sendo muito elogiado por todas as nações que o estão utilizando. Aplicado através de medidas específicas, respeitando as características de cada região, várias terminologias são desenvolvidas para tais medidas, incluindo o *Best Management Practices* (BMPs), nos Estados Unidos , *Alternative Techiniques* (AT), na França, ou mais recentemente o *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido.

Ainda, segundo Marsalek e Chocat (2002), variações na adoção de práticas do SWM foram observadas não apenas em países, mas também em cidades individuais, como por exemplo, em Barcelona, na Espanha. Essas variações, devido às características específicas de cada local de implantação, são importantes para a transferência de conhecimento neste campo.

No Canadá, durante as extensas inundações de 1974, o governo demonstrou interesse por um novo programa para redução dos danos ocasionados pelas enchentes urbanas. Cria-se então, em 1975, baseado nos conceitos do SWM, o *Flood Damage Reduction Program* (FDRP), representando transformações na forma de gerenciamento das águas urbanas. O FDRP estimulava a mudança das práticas de intervenções estruturais nos estudos da drenagem urbana, pela adoção de medidas não-estruturais no gerenciamento das superfícies de escoamento (LOË & WOJTANOWSKI, 2001).

O Drainage and Irrigation Department (DID) é responsável pelo gerenciamento da drenagem na Malásia e sua missão é promover a eficiência, a efetividade e a qualidade dos serviços através do planejamento, implementação e gerenciamento dos trabalhos sobre irrigação, drenagem, engenharia fluvial, tão bem como por meio da interação com outros departamentos e participação pública, seguindo o desenvolvimento nacional sustentável (CHAN, 1997).

No Brasil, o que se observa é a intensificação do desenvolvimento de vários modelos matemáticos pelos grandes centros de pesquisa nacional, ficando à disposição de usuários projetistas com objetivo de realizarem simulações nas bacias, obtendo respostas para um provável trabalho de planejamento urbano.

Nascimento e Baptista (2002) entendem que é bastante possível que a aparente simplicidade das soluções iniciais de concepção higienista para a drenagem de águas pluviais, requerendo basicamente a estimativa de vazões de pico e o cálculo de canalizações para o transporte por ação da gravidade, venha explicar a fragilidade técnica, econômica e institucional dos serviços de drenagem em várias cidades brasileiras.

Pompêo et al. (1998) estudaram a região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, e verificaram a necessidade de uma ação integrada de políticas para controlar as enchentes. Eles defendem a implantação de uma legislação de uso do solo, fundamentada na avaliação dos fatores físicos, humanos e técnicos do local.

Em busca de melhorias no sistema de drenagem, a cidade de Belo Horizonte apresentou recentes mudanças na legislação de uso e ocupação do solo urbano, estabelecidas pela Lei 7.165 de 27 de Agosto de 1996 (RAMOS et al., 1997).

Oliveira (1998) revela o descaso da cidade de São Paulo para com as inundações. Segundo ela, em estudos realizados em 1997, pelo Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), revelaram que as enchentes mais catastróficas que atingem um número considerável de pessoas, relacionam-se a pequenos cursos d'água. Para o Departamento, se fossem adotadas práticas de manutenção periódicas, como execução de serviços de limpeza, desobstrução e desassoreamento das calhas, a situação reverter-se-ia.

Com o objetivo de evitar perdas econômicas, atuar na melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade, em âmbito econômico, social e ambiental, definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, surgem, recentemente, os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU), que visam a busca da harmonia entre as redes de drenagem e o uso e a ocupação do espaço.

Segundo Alassia et al. (2003), no Brasil, as cidades de Porto Alegre, Curitiba e Caxias do Sul já possuem e estão usando seus PDDUs para o planejamento e gerenciamento da água no meio urbano.

### 3.5. A Busca pela Sustentabilidade nas Bacias Urbanas

O objetivo do gerenciamento sustentável da drenagem de uma bacia urbana está intimamente relacionado com o suporte ecológico dado ao local de implantação, ou seja, busca-se o desenvolvimento da bacia em moldes que respeitem as suas características naturais, alterando da menor maneira possível o ecossistema lá instalado.

Para regiões com rápido desenvolvimento urbano têm se verificado problemas para atingir essa sustentabilidade devido à falta de um planejamento e disciplinamento do uso do solo somando-se às invasões urbanas.

No Reino Unido, o governo central tem identificado um número de princípios estratégicos para o desenvolvimento sustentável incluindo o conhecimento da precaução, do poluidor pagador e dos princípios de carga crítica. Em particular, a emergência da AGENDA 21, como um local de ação para planejamentos básicos e estratégias integradas, tem sido uma política importante para um gerenciamento multifuncional. O governo local tem realizado uma função de comando baseada em 27 princípios oriundos da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, com a *National Rivers Authority* (NRA), direcionado para as águas urbanas, aplicado pelas autoridades de planejamento locais, atuando na preparação de auditorias ambientais e planos de desenvolvimento do uso do solo (NRA, 1994).

Em harmonia com esses princípios de desenvolvimento sustentável e com as *EU Directives* sobre avaliação ambiental, esse acesso integrado encoraja a conservação e realça a água no meio ambiente como um componente essencial no processo de tomada de decisão em alterações no uso do solo (ELLIS, 1995).

Em Portugal, de acordo com Correia et al. (1999), o conceito de *National Ecological Reserve* (REN) é aplicado nos municípios pelo Municipal *Land-Use Master Plans* (PDM) e estabelecido para áreas ambientais específicas e especialmente protegidas, como margens de rios e superficies de inundações, sujeitas a regulações através de zoneamentos. Essas áreas são identificas e mapeadas dentro

de um plano de uso do solo local, com o envolvimento e colaboração de várias organizações regionais e centrais.

O FDRP, no Canadá, tornou-se um programa ambiental de redução das enchentes benquisto pela população, creditando-se para ele, beneficios em áreas como planejamento do uso do solo e proteção ambiental dos corredores verdes ao longo dos cursos d'água, com custos dentro da realidade nacional (MILLERD et al., 1994).

Na análise dos cenários urbanos brasileiros é revelada a forma desordenada de apropriação do espaço, norteada pela ausência de um planejamento que considere o disciplinamento do uso e ocupação do solo como sendo prerrogativa básica de seu ordenamento, trazendo como consequências níveis abusivos de degradação ambiental para o cotidiano urbano (OLIVEIRA, 1998).

No Brasil, a legislação sobre o uso do solo, uma das principais ferramentas que podem causar efeito sobre as enchentes urbanas, é de cunho municipal. Porém, salienta Tucci (2003), a União, como também os Estados, podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo com a intenção de promover a proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e da segurança. Isso pode ser verificado sobre as áreas de preservação permanente e reserva legal. Os municípios elaboram suas leis sobre essas áreas, respeitando as normas estabelecidas pela Lei maior, neste caso, o Código Florestal.

A seguir, Gomes et al. (2003) realiza uma revisão das leis federais e do estado de São Paulo que apresentam correlação com a aplicação de técnicas não-estruturais, uma vez que, segundo Queiroz (1996), não existe lei municipal em São Carlos que contemple o tema, mesmo existindo a Lei Orgânica do Município.

#### Legislação Federal

## Lei Federal nº 4.771 / 65 – Institui o Novo Código Florestal

Art. 30. Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato

do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

- a a atemiar a erosão das terras;
- ullet g a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas;
- h a assegurar condições de bem-estar público.

Art. 50. O Poder Público criará:

• a – Parques Nacionais, Estaduais e Municipais e Reservas Biológicas, com a finalidade de resguardar atributos excepcionais da natureza, conciliando a proteção integral da flora, da fauna e das belezas naturais com a utilização para objetivos educacionais, recreativos e científicos;

Art. 180. Nas terras de propriedade privada, onde seja necessário o florestamento ou o reflorestamento de preservação permanente, o Poder Público Federal poderá fazê-la sem desapropriá-las, se não o fizer o proprietário.

# Lei Federal nº 9.433 / 97 – Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Art. 20. São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- III a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrente do uso inadequado dos recursos hídricos.
- Art. 30. Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:
- $\bullet$  I-a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
  - Art. 50. São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- II o enquadramento dos corpos de água em classes, seguindo os usos preponderantes da água;
- Art. 90. O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a:
- $\bullet$  I assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;
- II diminuir os custos de combate a poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes;
- Art. 210. Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:
- II nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxidade do afluente;

#### Lei Federal nº 10.257 / 01 - Estatuto da Cidade

- Art. 20. A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:
- I garantia do direito a cidades sustentável, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;
  - VI ordenação e uso do solo, de forma a evitar:
  - g) a poluição e a degradação ambiental;
- XII proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico;
- Art. 30. Compete à União, entre outras atribuições de interesse da política urbana:

• III – promover, por iniciativa própria e em conjunto com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico;

#### Legislação Estadual - São Paulo

Lei Estadual nº 7.663 / 91 – Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

- Art. 3º A Política Estadual de Recursos Hídricos atenderá aos seguintes princípios
- V combate e prevenção das causas e dos efeitos adversos da poluição, das inundações, das estiagens, da erosão do solo e do assoreamento dos corpos d'água;
- VII compatibilização do gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente
- Art. 4° Por intermédio do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos SIGRH, o Estado assegurará meios financeiros e institucionais para atendimento do disposto nos artigos 205 a 213 da Constituição Estadual e especialmente para
- III proteção das águas contra ações que possam comprometer o seu uso atual e futuro;
- IV defesa contra eventos hidrológicos críticos, que ofereçam riscos à saúde e à segurança públicas assim como prejuízos econômicos e sociais.
- Art. 6° O Estado promoverá ações integradas nas bacias hidrográficas tendo em vista o tratamento de efluentes e esgotos urbanos, industriais e outros, antes do lançamento nos corpos d'água, com os meios financeiros e institucionais previstos nesta lei e em seu regulamento.

- Art. 7º O Estado realizará programas conjuntos com os municípios, mediante convênios de mútua cooperação, assistência técnica e econômico-financeira, com vistas a:
  - VI combate e prevenção das inundações e da erosão;
  - VII tratamento de águas residuárias, em especial dos esgotos urbanos.
- Art. 8° O Estado, observados os dispositivos constitucionais relativos à matéria, articulará com a União, outros Estados vizinhos e municípios, atuação para o aproveitamento e controle dos recursos hídricos em seu território, inclusive para fins de geração de energia elétrica, levando em conta, principalmente:
  - III a proteção de flora e fauna aquáticas e do meio ambiente.

# Decreto Estadual nº 13.069 / 78 – Determinações para parcelamentos do solo urbano

Em seu capítulo I, artigo 7°, o decreto estabelece ocupações máximas para edificações e porcentagens destinadas às áreas públicas livres e de lazer.

Mota (1995) comenta que as principais vantagens das faixas de preservação permanente ao longo e ao redor dos mananciais, instituídas pelo Código florestal, são: a) proteção das áreas adjacentes de ocorrência de cheias; b) proteção dos reservatórios e cursos d'água quanto ao carreamento de poluentes; c) preservação dos corpos d'água contra a erosão e ao assoreamento, além de poderem se constituir em áreas de preservação e lazer; e d) proteção da fauna e flora locais, manutenção de um microclima local típico.

Com relação às áreas de lazer, a porcentagem destinada não corresponde necessariamente a áreas verdes, benéficas para o sistema de drenagem urbana, às vezes, sendo totalmente impermeabilizadas e concentradas num mesmo local.

Para Mota (1995) as áreas de lazer deveriam localizar-se, do ponto de vista ambiental, preferencialmente em áreas marginais aos corpos d'água, em áreas de encosta ou em outros locais de valor ambiental.

Quanto às áreas de proteção aos mananciais, elas são alvos tanto da exclusão social como do descaso do governo local. Pode-se dizer que as legislações ambiental e urbanística no Brasil não têm conseguido preservar satisfatoriamente o meio ambiente das ações antrópicas negativas.

Um bom exemplo a ser mencionado, em busca da sustentabilidade ambiental nas bacias de sua cidade, são os municípios de Londrina e Curitiba, no estado do Paraná.

Londrina alterou sua legislação sobre planejamento urbano e complementou-a adotando uma reserva ambiental nas áreas de fundo de vale, tornando-se verdadeiros corredores verdes que contribuem efetivamente para a redução das cheias.

Em Curitiba também foram criados os Setores Especiais de Preservação de Fundos de Vale, através da Lei Municipal nº 5.267/75, regulamentada pelo Decreto nº 400/76. Pela Lei, as áreas adjacentes aos corpos d'água e aos fundos de vale são previstas como extensas áreas verdes destinadas à pratica de lazer e recreação, contribuindo para a redução das vazões. Além disso, esse planejamento prevê a erradicação gradativa das favelas que ocupam essas regiões, emprego de mão de obra ociosa na manutenção das áreas de preservação, como limpeza, plantio de espécies vegetais, fiscalização, conservação de equipamentos e produção hortifrutícola (OLIVEIRA, 1998).

Vale mencionar que apenas o fato dos planejadores das cidades "lembrarem" de preservar a área de fundos de vale não é nada de extraordinário, pois estão, somente, observando a legislação imposta pelo Código Florestal, que destina essas áreas como de preservação permanente, intocáveis. Porém, como no Brasil essa reserva, na área urbana, é praticamente desconsiderada pelas prefeituras, chama a atenção quando alguém a faz prevalecer.

#### 3.6. Modelos Hidrológicos

O modelo hidrológico é uma das ferramentas desenvolvidas para melhor entender e representar o comportamento de uma bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. A simulação hidrológica é limitada pela

heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função de dados utilizados, discretização e das propriedades de representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (TUCCI, 1998).

A estimativa dos parâmetros físicos de uma bacia na modelagem é um dos fatores mais importantes e que caracteriza o modelo hidrológico. Pode-se trabalhar com parâmetros e variáveis homogêneas para cada bacia de drenagem, caracterizando o modelo tipo concentrado, ou parâmetros e variáveis que variam espacialmente pela área da bacia, caracterizando o modelo tipo distribuído.

Tucci (1998) definiu simulação como o processo de utilização do modelo, sendo dividida em três fases: estimativa ou ajuste, verificação e previsão. A estimativa, ou ajuste, dos parâmetros é a fase onde ocorre a determinação dos valores dos parâmetros. A verificação é a simulação do comportamento da bacia com os parâmetros estimados, verificando a validade do ajuste realizado, e a previsão da simulação com os parâmetros ajustados para a obtenção da quantificação de suas respostas para diferentes entradas.

Ainda de acordo com Tucci (1998), a estimativa dos parâmetros pode ser realizada utilizando três métodos:

- a) Estimativa sem dados históricos inexistência de dados sobre as variáveis do sistema, podendo estimar-se os valores dos parâmetros baseando-se em informações sobre as características físicas do sistema. Cada parâmetro possui, na literatura, uma variação de valores possíveis;
  - Ajuste por tentativa existindo valores das variáveis de entrada e saída, por tentativa, obtêm-se os parâmetros que melhor representam os valores observados e calculados pelo método;
  - c) Amostragem parâmetros obtidos através de medições de campo. Por exemplo, a estimativa da rugosidade de um canal e a área de uma bacia hidrográfica.

Para Lira (2003), a verificação é a fase da simulação em que o modelo é verificado, após sua calibração, com outros dados de saída, que serão utilizados somente para observar se o modelo, com os parâmetros anteriormente ajustados,

simula o sistema adequadamente. Quando os parâmetros sofrem modificações com o tempo, o ajuste e a verificação devem contemplar estas condições. Uma bacia urbana com suas condições de impermeabilização e canalização modificada terá seus parâmetros alterados.

Lira (2003) ainda comenta que a previsão é a fase da simulação em que o modelo, depois de ajustado e verificado, é utilizado na representação da saída do sistema para situações desconhecidas. A extensão de séries hidrológicas e a simulação de alternativas de projetos são algumas das situações encontradas na prática.

A utilização de modelos hidrológicos é necessária para antecipar e representar cenários, como por exemplo, o impacto da expansão urbana em uma bacia antes que ela ocorra, como também a eficácia de medidas de controle de cheias.

Algumas características importantes que não devem deixar de ser consideradas em um modelo hidrológico são listadas a seguir, por Porto e Azavedo (1997):

- Precisão representação mais próxima possível da realidade;
- Simplicidade possuir um número reduzido de parâmetros e variáveis e estrutura representando apenas a essência do sistema;
- Robustez representação boa da realidade com o menor número possível de parâmetros;
- Transparência Entendimento completo do modelo por quem o utiliza;
- Adequação boa interação com o usuário, boa interface para o usuário.

Porto e Azevedo (1997) relatam algumas das vantagens da utilização de um modelo:

- Análise do sistema real (quando possível) é muito mais onerosa do que a utilização do modelo;
- O custo do erro e realização de experiências com o sistema real é incomparavelmente maior do que o custo da exploração intensa do modelo;
- Modelos são ferramentas de aprendizagem, contribuindo não apenas para a melhor compreensão do sistema, mas também estimulando a concepção de novas idéias e linhas de ação;

- Modelos são instrumentos muito eficientes para treinamentos quando desenvolvidos ou adaptados especificamente para essa finalidade;
- Modelos conferem flexibilidade às análises, pois: (i) encurtam o tempo, permitindo a análise de muitos anos em tempos extremamente curtos e (ii) diferentes alternativas podem ser analisadas, muitas vezes mediante simples alterações dos parâmetros.

Segundo Lira (2003), os modelos são classificados em:

- a) Físicos representados por um protótipo em escala menor;
- b) Analógicos utilizam-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos, para modelar no sistema mais conveniente, o processo desejado;
- c) Matemáticos representam a natureza do sistema através de equações matemáticas.

Por serem mais versáteis, podendo-se obter resultados de diferentes situações num mesmo sistema, além da boa velocidade de resposta, os modelos matemáticos são considerados como boas alternativas para o desenvolvimento de trabalhos na área de simulações de ondas de cheias.

É importante destacar que para poder aproveitar as vantagens da modelação matemática é indispensável a obtenção de dados de monitoramento do sistema real para não correr o risco do modelo ser apenas um gerador de números.

## 3.6.1. Modelos no exterior

Tucci (1998) faz um breve histórico do desenvolvimento de alguns pioneiros modelos hidrológicos de precipitação-vazão. Um dos primeiros modelos é o SSARR (US Army, 1958). Ele foi introduzido, praticamente, com o advento do computador na área de engenharia, com o objetivo inicial de simular o processo hidrológico e a regularização da vazão no rio Columbia, nos EUA. Atualmente ele tem sido aplicado em uma ampla variedade de pequenas e grandes bacias para simulações de vazões provenientes do derretimento de gelo ou de precipitações, em muitas diferentes

regiões do mundo. O modelo STANFORD IV (Crawford e Linsley, 1966), buscou detalhar todos os processos, do modelo anterior, na bacia com discretização temporal de 15 minutos. *Kentucky Model* (James, 1970) aperfeiçoa automaticamente os parâmetros do STANFORD IV. Já o modelo *Texas Watershed Model* (Claborn e Moore, 1970) utiliza os mesmos procedimentos para propagação do modelo STANFORD IV, modificando os componentes da depressão do solo, infiltração e a variação de umidade do solo. Outro modelo amplamente utilizado, mas com diferentes algoritmos básicos é o HEC-1 *Flood Hydrograph Package* (*US Army*, 1973). O HEC-1 foi projetado para simular o escoamento superficial da precipitação em uma bacia hidrográfica, representando essa bacia como um sistema integrado de componentes hidráulicos e hidrológicos. O programa foi desenvolvido para projetos nas mais diversas condições climáticas, para áreas rurais ou urbanas.

Seguindo a linha do tempo, em 1975, foi desenvolvido o STORM - *Storage*, *Treatment, and Overflow Model (US Army*, 1975), para gerenciamento das águas pluviais urbanas, que simula a quantidade e qualidade de bacias pequenas, preferencialmente urbanas, porém áreas rurais também podem ser simuladas (DILLAHA, 1990).

Atualmente, existe uma variedade de pacotes computacionais de modelagem hidrológica para diversas condições hidráulicas de escoamento. Entre eles, pode-se citar o HEC-2 (USACE, 1990), para condições de escoamento permanente gradualmente variado, muito usado entre as décadas de 70 e 90. Também atuando sob diversas condições, foi desenvolvido para atuar em perfis e características do escoamento em canais abertos. Para o escoamento de águas superficiais inclui simulações de mudanças de canais, fluxos através de pontes, determinação de "caminhos" da água e projetos de canais.

Para análises de projetos hidrológicos, outro programa a ser mencionado é o TR20, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS, 1992), para escoamento não permanente e que é similar ao HEC-1. Foi projetado para avaliar hidrologicamente a relação chuva-vazão e utiliza para o cálculo dos escoamentos os métodos *Curve Number* e do Hidrograma Unitário, ambos desenvolvidos pelo SCS.

Merece destaque, também, o programa *PondPack* (HAESTAD, 2003), utilizado para estudos em escoamento não permanente. O *PondPack* foi

desenvolvido nos EUA e atua em um campo amplo de situações, desde simples até complexas redes de drenagem para diversas condições de desenvolvimento de bacias.

Outro software muito utilizado internacionalmente é o MIKE 11, desenvolvido por DHI *Water & Environment*. É um software para simulações de escoamentos, qualidade da água, e transportes de sedimentos em estuários, rios, canais de irrigação e outros corpos d'água (DHI, 2003).

Apesar da variedade de modelos já existentes, a área de modelagem hidrológica continua sendo bastante abordada e estudada, possuindo um número muito grande de pesquisas relacionadas à criação e eficiência.

Um exemplo disso são os modelos *Long Term Hydrologic Impact Assessment* (L-THIA), desenvolvido como uma ferramenta para estudar o escoamento e o controle de poluição devido às alterações do uso do solo, e o *Storm Water Management Model* (SWMM), considerado por Dillaha (1990) um dos mais sofisticados e usados, desenvolvido para gerenciamento urbano das águas de chuva em bacias de 5 a 2000 hectares. Esses modelos foram comparados num estudo realizado por Bhaduri et al. (2001), em duas bacias do município de Chicago, EUA e considerados importantes para a simulação de cenários referentes às mudanças no uso do solo, ainda que o L-THIA tenha sido considerado de uso mais fácil e rápido. O SWMM requer um tempo maior para formatação dos dados de entrada.

No mesmo ano Gumbo et al. (2002) utilizaram a ferramenta de extensão *ArcViewHydro*, do software de sistemas de informações geográficas *ArcView*, em estudos para "*The University of Zimbabwe's*", na África do Sul, sobre alterações do uso do solo, em uma área de 3 km² no campus universitário. O *ArcViewHydro* permite a combinação do sistema de informações geográficas com os modelos apropriados de chuva-vazão, resultando em um importante instrumento para análises e gerenciamento das águas urbanas.

#### 3.6.2. Modelos nacionais

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul desenvolveu uma série de modelos para simulação do ciclo

hidrológico, aplicáveis em diferentes situações, denominados modelos IPH II, IPH III, IPH IV e IPH mensal (TUCCI, 1998).

O modelo IPH II é utilizado para projetos de engenharia em bacias urbanas e rurais. Possui poucos parâmetros e é baseado em metodologias conhecidas. É utilizado em estudos em que a propagação no leito do rio não é importante, pois o modelo refere-se apenas ao escoamento na superfície da bacia e escoamento subterrâneo.

O modelo IPH III simula o escoamento na bacia e é calculado pelo mesmo método da versão anterior com outras opções adicionadas, como Muskingum-Cunge para o escoamento no rio e o método de Pulz para reservatórios. Esta versão não aceita a simulação de sistemas onde ocorram efeitos de remanso ou inversão do escoamento.

O modelo IPH IV simula o escoamento na bacia seguindo as versões anteriores e ainda utiliza um modelo hidrodinâmico, que utiliza um esquema implícito de diferenças finitas para simular o escoamento no rio e em reservatórios.

O modelo IPH mensal é uma versão que simula o processo de precipitaçãovazão com intervalo de tempo mensal, proposto para obter resultados rápidos e aproximados para problemas básicos de balanço hídrico.

Mais recentemente o IPH desenvolveu o modelo IPHS-1, que se apresenta como um sistema computacional modulado de fácil manipulação.

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo também desenvolveu uma série de modelos, denominados ABC, para análise de bacias complexas.

O modelo partiu de uma versão inicial em ambiente DOS (ABC 3), passando pelo ambiente Windows de 16 bits (ABC 4), ambiente Windows de 32 bits (ABC 5) e no estágio atual em Windows, 32 bits e tecnologia ActiveX, com uma interface mais ágil, mais amigável, acompanhando toda a evolução dos novos sistemas operacionais, o ABC 6.

Segundo os autores Oliveira et al. (1999), o modelo utiliza métodos sintéticos para dimensionamento de vazões máximas de pequenas bacias sem dados (perfil urbano e pequenas bacias rurais), facilitando muito o planejamento quando há escassez de informações ou quando não se tem dados específicos da região.

Com o objetivo de resolver problemas relativos aos efeitos da urbanização e analisar a bacia como um todo ou uma determinada seção de interesse, foi desenvolvido no Departamento de Hidráulica e Saneamento, da Escola de Engenharia de São Carlos, o modelo computacional hidráulico-hidrológico EESC, específico para algumas bacias da área urbana da cidade de São Carlos (LIRA, 2003).

Machado (1981) desenvolveu um modelo hidrológico determinístico distribuído aplicado a bacias urbanas, para simulação de hidrogramas de cheia devido a eventos de chuva de alta intensidade e curta duração para bacia do Córrego do Gregório, na cidade de São Carlos, São Paulo.

Dez anos depois, Barbassa (1991) aprimorou o modelo transformando-o em linguagem de programação passível de ser utilizada em PC. Além disso, inferiu algumas alterações conceituais na geração do escoamento em sub-bacias, além de proporcionar variação espacial automática da precipitação e desenvolver um programa que calcula a propagação em canais e galerias através do desenvolvimento completo das equações de Saint Venant.

O modelo hidrológico distribuído HIDRORAS, desenvolvido por Silva (2003), parte da premissa de que toda a área da bacia possa ser representada por células derivadas de um modelo numérico de terreno (MNT), especificando-se em cada célula o equacionamento hidráulico-hidrológico. Estudando a heterogeneidade do solo e da precipitação por meio de simulação, considerando-se distribuições espaciais diferentes para a condutividade hidráulica saturada e eventos de chuva, os resultados mostraram que as diferenças entre as vazões de pico podem ser maiores que 100%, considerando-se graus de resolução máximo e mínimo quanto à precipitação, e reafirmaram o consenso de que o conhecimento da distribuição espacial da chuva é fundamental na calibração de modelos hidrológicos distribuídos.

Um modelo um pouco mais antigo é destacado por Barbassa (1991), o DRENG-P21A, desenvolvido pelo DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo e pela Escola Politécnica da USP, em 1978. Este admite a possibilidade da utilização de uma precipitação espacialmente variável. O cálculo da infiltração é realizado por Horton, e aplica-se o conceito de onda cinemática ao escoamento em superfícies e canais.

# 3.7. Estudos de Medidas Não-Estruturais

Faisal et al.(1999) avaliaram as medidas não-estruturais que são, ou poderão ser, utilizadas no futuro como parte de um plano estratégico para mitigação de cheias na cidade de Dhaka, capital de Bangladesh. Foi utilizado, para as simulações, o MIKE 11 e dentre as medidas destacaram-se: o sistema de previsão e alerta contra enchentes, preservação de um número adequado de reservatórios naturais, planejamento do uso do solo, zoneamento das áreas de risco, serviços de emergência e abrigos, combate à enchente e reabilitação pós-enchente. Os resultados mostraram a importância da adoção de medidas não-estruturais associadas às estruturais, que não são totalmente eficientes, para um plano estratégico de combate às cheias.

Em outro estudo realizado em Bangladesh, Islam (2001) defende a proposta da manutenção dos escoamentos em seus canais abertos naturais, buscando a idéia de "viver com o rio e beneficiar-se dele". Para o autor, algumas medidas necessárias para atingir a idéia são: re-escavação do leito do rio, minimização das obstruções nos planos de escoamento, elevação das habitações rurais e urbanas, restauração das vias navegáveis, além estabelecimento de áreas de preservação ao longo do curso do corpo d'água. Esta proposta age preservando os efeitos de inundação do rio, mitigando as cheias, evitando situações de risco e não causando novos problemas de drenagem e sanitários.

Em Moscow, Idaho, EUA, um projeto ambiental para melhorar as condições da drenagem pluvial atuou na reabilitação das condições naturais de um trecho de 280 metros de um curso d'água local. A superficie de escoamento foi reabilitada e uma nova zona ripária foi plantada buscando acomodar a vazão máxima suportada para uma chuva com período de recorrência de 50 anos (MORRIS & MOSES, 1999).

Na cidade portuguesa Setúbal, próxima a Lisboa, Correia et al. (1999) avaliaram a aplicação de medidas não estruturais de controle de enchentes simulando dois cenários: a) Cenário tendencial - considera o crescimento urbano sem nenhum tipo de controle; b) Cenário oficial - considera o desenvolvimento de novas áreas urbanas estabelecidas por um plano de gerenciamento com adoção de medidas de preservação dos recursos agrícolas e naturais, atuando no disciplinamento do uso do solo. Os resultados obtidos revelam que é essencial a adoção de medidas não

estruturais para prevenir o desenvolvimento em potencial do escoamento devido à urbanização, além de serem consideradas efetivas a longo tempo e são podem ser avaliadas indiretamente.

Em um estudo sobre a aplicação de medidas estruturais e não estruturais de controle hidrológico aplicadas a uma bacia urbana de 176 hectares na Argentina, Huk e Mercanti (2003) avaliaram cenários propostos para configurações de um processo de evolução urbana até o término de 10 anos: cenário 1 — urbanização para as condições atuais; cenário 11 — urbanização para condições futuras sem medidas de controle; cenário 111 — urbanização para condições futuras com medidas de controle. As conclusões foram que para o cenário 111 ocorreu um aumento na vazão de pico em 23%, enquanto que para o cenário 11 a vazão de pico chegou ao aumento de 38,1%, significando 11% de diminuição quando aplicadas as medidas de controle.

Na bacia do Rio Cedar, próximo a Seattle, Washington, foram estudadas sete sub-bacias, das quais quatro urbanas, com áreas que variam entre 2,7 km² e 5,2 km², e três rurais, com áreas que variam entre 11,6 km² e 37,9 km². Analisaram-se os efeitos das mudanças no solo, sobre as características das descargas na rede de drenagem. Foram consideradas as condições do solo em 1991 e 1998 e verificou-se que o nível das vazões ocasionadas por precipitações com período de retorno de 10 a 25 anos, em 1991, eram menores do que os níveis ocorridos por precipitações de 2 a 10 anos, em 1998, após o processo de urbanização. Os maiores picos de vazões ocorreram quando a porcentagem de cobertura vegetal era baixa, entre 17% e 37% e a porcentagem impermeável maior que 46%. Em contraste, os menores picos ocorreram quando a cobertura vegetal era mais extensa, entre 59% a 81% e a área impermeável chegava até 23%. O trabalho demonstra a importância de medidas que buscam a preservação e/ou recuperação das áreas verdes nas bacias, reduzindo os volumes escoados (WISSMAR et al., 2004).

No Brasil, Ramos et al. (1997) utilizaram o método de escoamento superficial SCS (*Soil Conservation Service*) para analisar os efeitos sobre as vazões de pico das legislações atual, voltada para um controle maior do adensamento e incentivo à preservação das áreas verdes, maior permeabilidade do solo e preservação arbórea nos lotes, e anterior, da cidade de Belo Horizonte, MG. Foram estudadas as bacias do Córrego do Leitão, com área de 6,43 km² e da Avenida Liege, com área de 2,84 km².

As simulações mostraram que nas bacias, para uma chuva com período de retorno de 50 anos, com aplicação da nova legislação, houve um decréscimo nas vazões de 18% e 11%, respectivamente, quando comparadas com as resultantes da simulação dos cenários representativos da legislação antiga. Concluindo a importância da imposição de uma nova legislação que valoriza as áreas verdes relacionadas ao escoamento das águas pluviais.

Campana e Tucci (2001), também em busca de um novo plano de drenagem, numa tentativa de eliminar ou reduzir as enchentes, estudaram o relacionamento entre os parâmetros do modelo hidrológico e as características do desenvolvimento urbano (aumento da área impermeável e diminuição do tempo de concentração da bacia) na Bacia do Dilúvio, com uma área de drenagem igual a 76 km², em Porto Alegre, Brasil. Os autores utilizaram-se de um modelo hidrológico hidrodinâmico e um SIG para simularem as previsões de escoamento em quatro cenários: a) cenário urbano em 1980; b) cenário urbano em 1990, similar às condições presentes; c) cenário Indicado pelo *Urban Master Plan*, com espaços livres permeáveis nos lotes; e d) cenário indicado pelo *Urban Master Plan*, mas com 50% da área livre sendo impermeável (realidade futura). Os resultados mostraram que o cenário "d", representando uma situação de realidade futura, contribuiu para uma variação da vazão de pico, aumentando de 20 para 50%, se comparado com situação "b".

Em 1998, Ostrowsky (1998) desenvolveu estudos na Bacia Hidrográfica do rio Pirajuçara, na região metropolitana de São Paulo, com 70% de sua área urbanizada e problemas de inundação, revelando a importância da implantação de medidas não estruturais de controle. A regulamentação do uso do solo incluindo medidas como: a delimitação dos planos de inundação e imediata ocupação com parques, áreas de lazer, reservas naturais para detenção das águas, demonstrou-se eficiente para a minimização das cheias.

Tendo como área de estudo a bacia do Córrego do Gregório, em São Carlos/SP, Queiroz (1996) realizou simulações de cenários com medidas não estruturais de combate às enchentes, utilizando-se da aplicação do modelo hidrológico aprimorado por Barbassa (1991), com a inserção do SIG. Foram consideradas variações no percentual de área permeável dependente da ocupação e uso do solo. A conclusão foi que os parâmetros mais sensíveis durante as simulações

foram: porcentual de área permeável, rugosidade da superfície e os níveis de infiltração.

Na mesma cidade, porém na bacia do Córrego do Mineirinho, Benini et al. (2004), realizou um trabalho sobre mitigação de enchentes decorrentes da implantação do Campus II da Universidade de São Paulo (USP). O modelo hidrológico usado foi o IPHS-1 e foram analisados cenários ambientais: prédesenvolvimento (antes da urbanização e expansão agrícola); pré-ocupação (antes da implantação do Campus II, ou seja, atualmente); pós-Campus II. Ele conclui que com a implantação do Campus II ocorrerá a diminuição da retenção hídrica no solo, devido ao processo de impermeabilização, ocasionando um impacto na área de influência de drenagem. Efeitos diminuídos quando seguidas as diretrizes do Plano Diretor de Drenagem Urbana.

Em estudo realizado em parte da bacia do Córrego do Gregório, com área de 18,9 km², na cidade de São Carlos, Barros et al. (2003) mostram que a porção urbanizada da bacia aumenta com intensidade os picos de vazão, podendo gerar inundações e extravasamentos em alguns locais. Esta constatação leva a necessidade de se realizar estudos de medidas estruturais e não-estruturais de controle de vazão, durante o processo de urbanização da área a montante da bacia.

Ohnuma Junior (2005), buscando diretrizes para prevenção e combate às inundações em uma micro-bacia do Tijuco Preto, com área aproximada de 2,31 km², na cidade de São Carlos/SP, simulou alguns cenários para a bacia atual, futura, com e sem um plano de drenagem urbana. O plano de drenagem urbana era dotado de medidas como: regularização de áreas e zoneamento ambiental, controle distribuído da drenagem com maior poder de infiltração e percolação de água no solo, micro-reservatórios instalados nos lotes, arborização de ruas, retenção do volume escoado através de reservatórios e recuperação e preservação de áreas de interesse ambiental. O modelo hidrológico utilizado foi o IPHS-1 e para a simulação do cenário do futuro sem o plano, foram observados grandes aumentos da vazão de pico e do volume escoado, juntamente com a diminuição do tempo de concentração da bacia. Variações foram suprimidas no cenário futuro com o plano, destacando a importância de tais medidas no combate e prevenção de inundações.

# 3.8. A Cidade de São Carlos e as Enchentes

# 3.8.1. Características gerais

A cidade de São Carlos, chamada anteriormente de São Carlos do Pinhal, devido a grande quantidade existente de Pinheiro do Paraná (Araucária), localiza-se em uma posição geograficamente estratégica, a 244 km da capital São Paulo, a 155 km de Campinas, a 113 km de Ribeirão Preto e a 334 km do Porto de Santos. Posicionamento importante por ser uma cidade tradicionalmente industrial, de médio porte e com aproximadamente 170 mil habitantes.

Inserido em duas grandes bacias hidrográficas: Mogi-Guaçu e Tietê-Jacaré, o município faz parte de dois Comitês Estaduais de Bacias Hidrográficas (LIRA, 2003). A maior parte da zona urbana está localizada na Bacia do Tietê-Jacaré que contém a Bacia do Monjolinho, com área de drenagem de, aproximadamente 75 km², sendo que, aproximadamente 15% desta é ocupada por área urbana.

Além do Córrego do Monjolinho a rede de macro-drenagem é formada pelos córregos do Gregório, Tijuco Preto e Santa Maria Madalena. O Córrego do Gregório atravessa a porção com maior densidade populacional e também a mais antiga da cidade, sendo o que mais contribui para as cheias, devido ao crescente processo de expansão urbana (RIGHETTO et al., 1993).

Quanto ao aspecto climático, Silva (2003) destaca duas estações bem definidas: a estação chuvosa, de outubro a março, durante a qual ocorrem as chuvas de verão caracterizadas pela alta intensidade e curta duração, com clima super-úmido e tropical; a estação seca, compreendida entre os meses de abril e setembro, com clima sub-úmido e temperado. Na região, a precipitação média anual é de, aproximadamente, 1200mm.

## 3.8.2. Urbanização

Em estudo sobre o processo de afluxo de grandes contingentes do campo para a cidade, Bisinoto\* apud Barbassa (1991) expõe que a cidade de São Carlos surgiu com um aglomerado de casas no cruzamento do Córrego do Gregório e o caminho que ligava Piracicaba a Cuiabá. O crescimento se fazia com doações de terras por fazendeiros para a igreja, locais que os especuladores loteavam, em pontos que lhes foram convenientes. A construção de meios de transportes, como rodovias e ferrovias, orientou o crescimento urbano. Os transportes afetaram, também, a distribuição da cidade. Na época dos bondes, por motivos econômicos, a cidade era adensada; foi com o surgimento e utilização do ônibus que ocorreu o espalhamento da população.

Segundo Lira (2003), a exemplo do que aconteceu com outras cidades brasileiras, a população de São Carlos passou de rural para urbana, observado na tabela 16, a seguir:

Tabela 16 – Evolução populacional do município de São Carlos entre 1940 e 2000 (IBGE – Censos Demográficos de 1940 a 2000)

Ano	População total (hab)	População rural (hab)	População urbana (hab)	População rural (%)	População urbana (%)
1940	48.609	22.863	25.746	47,03	52,97
1950	47,731	15.028	32.703	31,48	68,52
1960	62.045	11.194	50.851	18,04	81,96
1970	85,425	96.686	75.739	11,34	88,66
1980	119.542	9.307	110.235	7,79	92,21
1990	158,221	9.813	148.408	6,2	93,8
2000	192.923	9.554	183.369	4,95	95,05

<sup>\*</sup>BISINOTO, D.A. (1988). Evolução Urbana de São Carlos. São Carlos. Dissertação (Iniciação Científica) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo. apud BARBASSA, A.P. (1991). Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial na Cidade de São Carlos/SP. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo

Os resultados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística (IBGE) sobre a evolução da população são-carlense, por meio dos censos demográficos de 1940 a 2000, mostram que houve uma transferência significativa, durante o passar dos anos, da população do campo para a cidade. Lira (2003) comenta que a cidade, mesmo possuindo um vasto território rural e uma importante produção agrícola, tem como base econômica o comércio, a indústria e a prestação de serviços.

Sofrendo o efeito da expansão urbana e ainda de modo descontrolado sobre áreas impróprias a cidade de São Carlos possui problemas de natureza ambiental, relacionados, principalmente, com erosão, drenagem e proteção aos corpos d'água. Situação reforçada pela legislação do uso e ocupação do solo muito branda e pouco exigente.

Falcoski (1997) considera que o processo de expansão da malha urbana do município apresenta consequências visíveis no espaço urbano, tais como: a falta de espaços para recreação; existência de áreas ociosas; praças e espaços públicos pouco valorizados, e, em muitos casos, mal localizados na malha urbana, áreas residenciais com índices de ocupação inadequados, considerando a densidade, os tipos, as dimensões e proporções de lotes ocupados e a maximização da expansão da área pavimentada pela ausência de critérios que favoreçam a ampliação de áreas permeáveis.

Para Aguiar (1989), a expansão da cidade de São Carlos, no final da década de 80, se intensificou em direção ao setor oriental do município, apesar de ali estar localizado um obstáculo para o crescimento, representado pela Rodovia Washington Luiz. Segundo o autor, de acordo com funcionários da Prefeitura Municipal, já haviam sido aprovados novos loteamentos para o setor.

Essa tendência de crescimento urbano, direcionado para a área leste do município tem-se verificado atualmente. A bacia do córrego do Gregório, localizada nesta região foi e continua sofrendo um processo contínuo de expansão urbana, ocasionando problemas sérios de drenagem para a população local.

Em estudo sobre o impacto da recente urbanização na drenagem da cidade, Barbassa (1991) obteve resultados de cálculo das vazões de pico para a Bacia do

Córrego do Gregório. As vazões foram simuladas na seção do Mercado Municipal e com cenários representantes da urbanização de 1980 e 1990. A transformação da bacia fez com que uma vazão produzida por uma precipitação de 10 anos de período de retorno em 1980, fosse próxima de uma vazão de 5 anos de período de retorno em 1990.

Esse efeito sobre os escoamentos estão sendo sentidos frequentemente pelos moradores próximos aos cursos d'água, que anualmente contabilizam prejuízos consideráveis provenientes de inundações na cidade.

# 3.8.3. As enchentes em São Carlos

O caso da cidade de São Carlos, SP, é alarmante. Estudos realizados pelo (NIBH, 2004a) "Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP", revelam que possuindo mais de 15 subbacias urbanas localizadas em áreas de nascentes, com tempos de concentração reduzidos, a cidade apresenta altas perdas econômicas e ambientais, agravadas pela falta de um gerenciamento de enchentes urbanas. Por exemplo, anualmente a cidade sofre, em média, 4 a 5 grandes enchentes, afetando mais de 40 estabelecimentos comerciais e acarretando em gastos de aproximadamente R\$500.000 por enchente.

Em entrevista feita com moradores e comerciantes da região central de São Carlos, Righetto e Mendiondo (2004) relatam a insatisfação das pessoas com relação à ineficácia das obras estruturais antienchentes realizadas pela prefeitura municipal na busca da solução do problema. Na região, as inundações ocorrem muito rápidas, aproximadamente 30 minutos, e atingem cotas que variam de 50 cm a 150 cm, causando transtorno e prejuízo para a população local.

A região do Mercado Municipal, área atravessada pelo Córrego do Gregório, possui um histórico antigo com relação às inundações e seus efeitos sobre a população. É neste sentido que se buscou no trabalho de Mendes et al. (2004), informações a respeito de datas prováveis em que ocorreram inundações na sub-bacia do rio. A seguir, a tabela 17 apresenta notícias encontradas em jornais que destacam as inundações no Córrego do Gregório.

Como verificado na tabela 17, a região sofre com fenômenos de enchentes desde os anos 40, porém tais condições não foram abordadas no decorrer da evolução urbana da cidade. A área foi profundamente alterada e impermeabilizada, com o surgimento das áreas residenciais, comerciais e industriais, juntamente com o sistema viário, implicando no aumento, consequente, das ocorrências desses eventos.

Tabela 17 – Notícias encontradas em jornais sobre inundações na sub-bacia do Córrego do Gregório entre 1940 e 1996 (Mendes et al., 2004)

Data da chuva	Data da notícia	Jornal	Título
-	7/1/1940	Correio de São Carlos	Novas obras projetadas
		V × ×	Várias Notícias / Devido às grandes
=	21/2/1942	A Cidade	chuvas "Várias Notícias" / No dia 1º do
	200000 20000		decorrente mês ()
1/1/1945	4/1/1945	A Cidade	As Chuvas
-	29/1/1947	Correio de São Carlos	10 2000 - 3 3 20 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
18/2/1947	23/2/1947	Correio de São Carlos	Arraso (sic) de Trens
18/2/1947	23/2/1947	Correio de São Carlos	Tremor de Terra
18/2/1947	23/2/1947	Correio de São Carlos	Consequências das Chuvas
18/2/1947	23/2/1947	Correio de São Carlos	Suspensas temporariamente as atividades das piscinas
10/2/1747	20.2.2.		Enchente do MogiGuaçu em Santa
_	23/3/1947	Correio de São Carlos	Eudóxia
26/11/1947	30/11/1947	Correio de São Carlos	Enchente
20/11/17/1	17/2/1953	Correio de São Carlos	As ruas estão intransitáveis
100055	2/2/1955	Correio de São Carlos	Novamente inundada a parte baixa da cidade
1/2/1955	3/2/1955	Correio de São Carlos	O Córrego do Gregório
₩\		Correio de São Carlos	Os Camelôs e o Comércio Estabelecido
<del></del>	11/2/1956	Correio de São Carlos	Mau cheiro do Córrego do Simeão
<b>=</b> :	13/2/1956		As Chuvas
-	17/1/1957	A Cidade	Chuvas abundantes em todo o Estado
-	12/1/1959	A Cidade	As Chuvas
-	11/1/1960	A Cidade	Causaram prejuízos as chuvas de ontem
12/1/1960	13/1/1960	A Cidade	Urge retificação do Gregório e construção
		A T-11-	de novas galerias
19/1/1960	20/1/1965	A Folha	Chuvas retardam obras publicas
/ <u>=</u>	14/1/1968	A Folha	Pesadas chuvas continuam a cair na
	10444060	A Falls	cidade
17/1/1968	18/1/1968	A Folha	Retificação do Gregório
-	12/3/1970	O Diário	Rua São Paulo tem cascata
13/3/1970	14/3/1970	O Diário	Prefeito determina: imediata construção
		O Diánio	de galerias pluviais na rua São Paulo
	20/3/1970	O Diário	Ainda repercute em São Carlos os efeito
	25/2/1072	A Folha	da última inundação
23/2/1972	25/2/1972	ATOMA	Inundações, Desabamentos e Prejuízos
1/2/1072	6/2/1973	A Folha	com as violentas chuvas de domingo
4/2/1973	0/2/17/3	11101111	Verdadeira tromba de água sobre São
10/1/1975	12/1/1975	A Tribuna	Carlos causa prejuízos
10/1/19/3	22/1/1980	A Folha	A Chuva e seus Estragos
	9/3/1980	O Diário	Inundações: consequências e causas
-	7/3/1760	5 2	Chuvas não interrompem obras contra
	12/12/1980	O Diário	enchentes em São Carlos
27/1/1987	28/1/1987	A Folha	Chuvas inundam lojas e o rio transbord
21/1/1987	20/1/170/		Galerias de Águas Pluviais salvam
31/12/1989	7/1/1990	A Folha	moradores do Gonzaga
31/12/1707			Paulo Gomes quer livrar cidade das
31/12/1989	21/1/1990	A Folha	inundações
26/2/1996	The second secon	A Folha	Chuvas causam danos nos bairros

No mês de Dezembro, em 2004, a cidade de São Carlos sofreu os mais recentes danos causados pelas chuvas. Os dias 15 e 19 de Dezembro trouxeram a lembrança do antigo problema de moradores dos bairros e centro com as enchentes. Nos bairros, ruas e calçadas e casas são invadidas pelas águas. No dia 15, no centro, na região do Mercado Municipal, pouco tempo de chuva forte fez o nível do Córrego do Gregório subir muito e algumas bocas de lobo que não suportaram o volume de água transbordaram, inundando as ruas e preocupando os comerciantes (PRIMEIRA PÁGINA, 2004a). Já no dia 19, os problemas foram piores, 20 minutos de chuva foram suficientes para que o córrego transbordasse, transformando-se em perdas de mercadorias e, conseqüentemente, econômica, para os estabelecimentos ali locados (PRIMEIRA PÁGINA, 2004b). Ainda em entrevista para o jornal, o camelô José Edi Assis Camelo chegou a dizer que a solução seria a retirada de todos da região da Baixada, para que o córrego pudesse ter a vazão adequada. "Precisa tirar todos da Baixada, inclusive o Mercado Municipal", respeitando as áreas de escoamento do canal. "Estas obras que estão fazendo não vão resolver nada", comentou.

É evidente a insatisfação dos cidadãos sãocarlenses, principalmente da população e dos comerciantes das regiões problemáticas, com a situação da cidade referente ao trato das inundações urbanas municipais.

# 3.8.4. Lægislação municipal

Na cidade de São Carlos o que existe, atualmente, é um Projeto de Lei que institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, onde são encontrados capítulos que influenciarão diretamente no escoamento das águas pluviais da cidade.

Art. 56 - As Áreas de Especiais Interesses compreendem as porções do território que exigem tratamento especial por destacar determinadas especificidades, cumprindo funções especiais no planejamento e no ordenamento do território, complementando o zoneamento por meio de normas especiais de parcelamento, uso e ocupação do solo, classificando-se em:

I. Área especial de interesse histórico;

II. Área especial de interesse ambiental;

III. Área especial de interesse turístico, histórico e ecológico;

IV. Área especial de interesse industrial;

V. Área especial de interesse de transporte aéreo;

VI. Área especial de interesse social.

Art. 62 - 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.

Art. 95 - O Poder Executivo Municipal, por meio da Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, emitirá Certidão de Diretrizes para os parcelamentos do solo para fins urbanos, fundamentada nas exigências urbanísticas, edilícias e ambientais locais, nas necessidades dos usuários, na observância às normas estabelecidas nesta Lei e em legislação específica.

Além disso, no Capítulo III – Da Ocupação do Solo, são estabelecidos coeficientes para determinar, no lote, as taxas de: ocupação, aproveitamento, permeabilidade e de cobertura vegetal, nas zonas pré-estabelecidas (tabela 18).

O zoneamento tem o objetivo de controlar a evolução da ocupação urbana no município. No caso da sub-bacia em questão, as zonas de expansão estão ilustradas na figura 04.

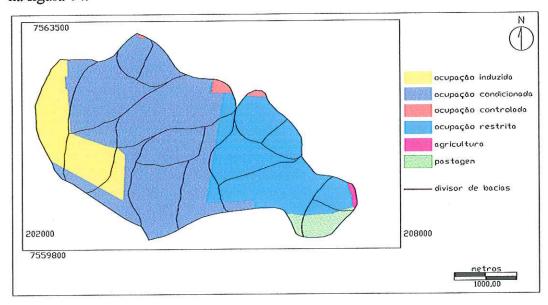


Figura 04 – Zoneamento da expansão urbana da cidade de São Carlos/SP (adaptado de PMSC, 2004).

Tabela 18 – Parcelamento do uso do solo para as zonas de expansão urbana, CO – Coeficiente de ocupação; CP – Coeficiente de permeabilidade; CCV – Coeficiente de cobertura vegetal (PMSC, 2004).

	Zona Urbana				Zona Rura	al
	Ocup. induzida	Ocup. Condicionada	Ocup. Controlada	Ocup. Restrita	Pastagem	Agricultura
со	70%	70%	50 a 70%	30%	não especifica	não especifica
СР	15%	15%	20 a 40%	30%	não especifica	não especifica
ccv	não especifica	não especifica	10%	40%	não especifica	não especifica

Maiores detalhes a respeito das zonas de expansão urbana estabelecidas pelo Plano Diretor do Município de São Carlos são apresentados no anexo F.

Complementando, o artigo 102° do Plano Diretor impõe que o Poder Executivo Municipal não autorizará parcelamentos para fins urbanos localizados em áreas com restrições à ocupação que apresentem:

- Declividades superiores a 30%;
- Declividades superiores a 12% em solos arenosos;
- Encostas próximas às nascentes de curso d'água;
- Vegetação de interesse ambiental definida por legislação.

## CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

#### 4.1. A Revisão Literária

Com os objetivos do presente trabalho em vista, fez-se um aprofundamento na revisão da literatura a respeito do assunto, em busca de uma fundamentação técnica, teórica e metodológica, disponíveis, para dar suporte à pesquisa.

O capítulo da revisão da literatura buscou abordar a problemática das enchentes urbanas, seus números adversos, ocasionados principalmente pela expansão descontrolada da população nas cidades, e a preocupação e utilização de medidas de controle, sobretudo, não-estruturais, com o objetivo de alcançar uma drenagem urbana sustentável. Para isso, fez-se, também, uma pesquisa a respeito de trabalhos já realizados sobre simulações hidrológicas dessas medidas e os modelos utilizados, tanto nacionais, como estrangeiros.

A fundamentação teórica baseou-se em consultas a periódicos e anais nacionais e internacionais, dissertações, teses e livros de temas específicos ou áreas afins.

#### 4.2. O Modelo IPHS-1

Uma versão mais recente dos modelos da família IPH é o sistema computacional modulado IPHS-1, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim da Faculdade de Engenharia Agrícola da

Universidade Federal de Pelotas, e Setor de Hidráulica e Saneamento da Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Ele permite ao usuário a determinação do hidrograma de projeto por meio da escolha da combinação de alguns algoritmos, já consagrados, existentes na literatura. Com uma modulação didática, pois permite ao usuário diferentes combinações e sua conseqüente comparação e entendimento do sistema representado, permite a escolha mais adequada do modelo que melhor represente as diferentes realidades existentes nos sistemas naturais.

O "pacote" IPHS-1 mostra-se cada vez mais importante para os estudos hidrológicos nos centros de pesquisas. Sua utilização é verificada a cada dia, basta consultar os artigos e projetos realizados no país. Como exemplo de recentes utilizações, pode-se mencionar o estudo realizado por Barros & Mendiondo (2003) sobre cálculos de vazões e cotas de descarga em eventos críticos de enchente na cidade de São Carlos, o uso nos estudos sobre o conceito de Bacia Escola no auxílio aos Planos Diretores de Drenagem Urbana (ESTEVES, 2003) e sua utilização, por Villanueva et al. (2004), nos projetos dos Planos Diretores de Drenagem Urbana das cidades de Porto Alegre e Caxias do Sul.

Os objetivos da estrutura modular do sistema são: (i) melhor compreensão dos processos hidrológicos e dos algoritmos clássicos utilizados para sua simulação; (ii) ensino de modelos matemáticos; e (iii) oferecer alternativas de escolha do melhor conjunto de algoritmos para uma bacia específica.

De acordo com IPHS-1 (2001), o sistema é formado por três componentes:

- leitura de dados e manejo de arquivos;
- modelos;
- impressão e graficação.

O primeiro componente (versão Windows) permite gerar os arquivos de informação que contêm parâmetros, dados hidrológicos e/ou características físicas da bacia, de acordo com as necessidades do usuário.

O segundo componente divide-se em dois módulos: Bacia e Rio.

O módulo Bacia pode ser configurado pelos módulos:

# Precipitação:

- precipitação sequenciada fornecida pelo usuário;
- precipitação acumulada de projeto obtida de relações I-D-F.

# Separação de escoamento:

- algoritmo de Horton modificado;
- equação de Holtan;
- método exponencial (HEC-I)
- método do Soil Conservation Service (SCS);
- índice Ø.

## Escoamento superficial:

- método de Clark;
- hidrograma unitário fornecido;
- hidrograma unitário triangular do SCS;
- método de Nash modificado (HYMO).

## Escoamento subterrâneo:

- reservatório linear simples.

## O módulo Rio pode ser dividido em duas partes:

- escoamento em rios;
- escoamento em reservatórios;

## Escoamento em rios:

- modelo Muskingum;
- modelo Muskingum-Cunge linear ou não linear;
- modelo Muskingum-Cunge não linear com planície de inundação;
- modelo Muskingum-Cunge não linear adaptado especificamente para condutos fechados.

### Escoamento em reservatórios:

- o modelo de Puls.

O terceiro componente é a saída, que tem por finalidade apresentar os dados utilizados e os resultados numéricos e gráficos, quando solicitados. Esta etapa é realizada em interface Windows, com os gráficos podendo ser exportados para planilhas eletrônicas ou processadores de texto.

#### 4.2.1. Modelos utilizados no trabalho

#### Módulo Bacia

O módulo está formado pelos modelos que representam o processo de transformação chuva-vazão (P-Q) em cada uma das sub-bacias em que é discretizada a bacia total.

#### **Precipitação**

O algoritmo de precipitação calcula o hietograma de cada sub-bacia, existindo duas possibilidades: 1) hietograma de projeto e 2) hietograma observado.

O algoritmo calcula a precipitação freal média para cada sub-bacia segundo o método dos polígonos de Thiessen. Para cada transformação P - Q é indicado que postos de chuva participam e com que porcentagem. Se existe um único posto, ingressa o mesmo com porcentagem de 100%.

## Separação de escoamento

A separação da parcela de chuva efetiva a ser utilizada para a determinação do hidrograma de escoamento direto será realizada mediante o método *Curve Number* (CN) do SCS (ou das relações funcionais).

Desenvolvido nos Estados Unidos da América, em 1950, por *U.S.* Departament of Agriculture Soil Conservation Service (SCS, hoje o Natural Resource Conservation Service ou NRCS), o modelo considera o processo de divisão da precipitação total representado pelo hietograma do evento chuvoso, abstrações iniciais, retenções e precipitação efetiva.

O modelo SCS é muito utilizado em todo o mundo, tendo como principais vantagens: a) reduzido número de parâmetros (relação entre parâmetros e características físicas da bacia); b) ampla difusão da bibliografía sobre experiências de sua utilização. As desvantagens são: a) não considera percolação, ou seja, não permite avaliar escoamento subterrâneo e b) não considera a recuperação da capacidade de infiltração.

Para determinar a lâmina superficial o modelo utiliza a expressão:

$$Q = [(P - Ia)^{2}]/(P + S + Ia)$$
(4.1)

onde: Q: escoamento direto ou precipitação efetiva (mm);

P: precipitação total acumulada (mm);

Ia: precipitação que não produz escoamento no início da tormenta (mm);

S: armazenamento no solo, retratado pelas condições de cobertura (mm).

O método adota uma aproximação empírica, para bacias sem dados, em que as perdas iniciais representam em média 20% da capacidade de armazenamento do solo, ou seja, Ia = 0,2S, que substituindo na equação 4.1 tem-se:

$$Q = [(P - 0.2S)^{2}]/(P + 0.8S)$$
(4.2)

Equação validada apenas para P>0,2S e quando P<0,2S, Q=0 (TUCCI, 2002).

O modelo utiliza como dado de entrada o chamado coeficiente CN (curve mumber), obtido pela equação:

$$CN = (25.400)/(S + 254)$$
 (4.3)

Os valores de S para os diversos tipos e usos do solo são encontrados nas tabelas 19 e 20, a seguir.

Tabela 19 – Valores do parâmetro S (mm) para bacias urbanas (Adaptado de IPHS-1, 2001).

Utilização ou c	obertura do solo	A	В	C	D
Zonas cultivadas sem conservação do solo			60	35	25
Zonas cultivadas com	conservação do solo	156	104	72	60
Pastagens ou terrenos	em más condições	120	68	41	31
Baldios em boas cond		397	162	89	64
Prado em boas condiç	cões	593	162	89	64
Bosques ou zonas flor ruim	restais com cobertura	310	131	76	52
Bosques ou zonas flor boa	restais com cobertura	762	208	109	76
Espaços abertos, relva campos de golf, cemi condições:					
com relva em mais de 75% da área			162	89	64
com relva de 50 a 75% da área			114	68	48
Zonas comerciais e de escritório			22	16	13
Zonas industriais			35	25	19
Zonas residenciais	* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *				
Lotes de (m2)	% impermeável				57.00
<= 500	65	76	45	28	22
1000	38	162	85	52	38
1300	30	192	99	60	41
2000	25	216	109	64	45
4000	20	244	120	68	48
Estacionamentos, telhados, viadutos, etc.			5	5	5
Arruamentos e estrad	as				
asfaltadas e com drenagem pluvial			5	5	5
paralelepípedos	100ct 000	80	45	31	25
terra	777	99	56	38	31

Tabela 20 - Valores do parâmetro S (mm) para bacias rurais (Adaptado de IPHS-1, 2001).

Uso do solo	Superfície	A	В	C	D
C-1- 1d-	com sulcos retilíneos	76	41	25	16
Solo lavrado	em fileiras retas		64	38	28
	em curvas de nível		76	52	38
Plantações regulares	terraceado em nível		80	48	35
,	em fileiras retas		80	48	35
¥	em curvas de nível	156	89	56	45
Plantações de cereais	terraceado em nível	169	104	68	56
~~	em fileiras retas	156	85	52	38
Dianta a X as da la mumas	em curvas de nível	169	99	60	48
Plantações de legumes	terraceado em nível	192	109	72	31
:	pobres	120	68	41	31
ou cultivados	normais		114	68	16
	boas	397	162	89	64
	pobres, em curvas de nível	286	125	60	35
Pastagens	normais, em curvas de nível		177	85	52
	boas, em curvas de nível		472	109	68
	normais	593	184	104	72
Commence	esparsas, de baixa transpiração	310	131	76	52
Campos permanentes	normais	452	169	94	68
	densas, de alta transpiração	762	208	109	76
01.	normais	200	85	41	25
Chácaras, estrada de	más	99	56	38	31
terra	de superfície dura	89	48	28	22
	muito esparsas, baixa				
	transpiração	200	85	41	25
Florestas	esparsas	298	120	72	48
	densas, alta transpiração	723	234	156	114
	normais	452	169	109	80

Os tipos de solo encontrados nas tabelas 19 e 20 são (IPHS-1, 2001):

⇒ Solo A – solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%,
não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo
densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito
baixo, não atingindo 1%.

- ⇒ Solo B solos arenosos menos profundos do que o anterior e com menos teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir para 20%. O dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2% e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada do que a camada superficial;
- ⇒ Solo C solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Solo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade;
- ⇒ Solo D solos argilosos (30 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.

# Condição de umidade antecedente do solo (IPHS-1, 2001):

- ⇔ Condição I solos secos as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm;
- ⇒ Condição II situação média na época de cheias as chuvas, nos 
  últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm;

Os valores das tabelas 19 e 20 referem-se à condição II de umidade antecedente do solo. A tabela 21 permite a correção dos valores de S para as condições I e III.

Tabela 21 - Correção de S em função da umidade antecedente (IPHS-1, 2001)

Condições de umidade				
I	II	III		
0	0	0		
38	13	3		
72	28	5		
109	45	8		
149	64	16		
192	85	25		
244	109	38		
310	137	52		
381	169	68		
472	208	85		
565	254	109		
687	310	137		
850	381	169		
1083	472	208		
1439	593	254		

# Escoamento superficial

A transformação da chuva efetiva no hidrograma de escoamento direto será realizada pelo Hidrograma Triangular do SCS.

O método do hidrograma unitário triangular do SCS (figura 05) baseia-se nas seguintes equações:

$$Qp = (2,08.A) / [(t/2) + 0,6tc]$$
 (4.4)

$$Tp = [(t/2) + 0,6tc]$$
 (4.5)

$$Tb = Tp + tr = 2,67.Tp$$
 (4.6)

$$tc = (3.83.A^{0.41}) / S^{0.17}$$
 (4.7)

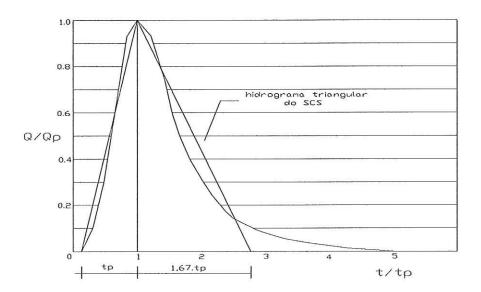


Figura 05 - Hidrograma unitário triangular do SCS (IPHS-1, 2001)

onde: Qp: vazão pico do hidrograma unitário (m³/s);

A: área da bacia (km²);

t: intervalo de tempo de cálculo (h);

tc: tempo de concentração da bacia (h);

Tb: tempo base do HU (h);

Tp: tempo de pico do HU (h);

S: declividade da bacia (m/10Km).

### Módulo Rio

Este módulo utilizado representará o processo de propagação de ondas de cheia em rios e canais, empregando-se o método Muskingum-Cunge Linear para condutos de seção retangular, onde os canais apresentarem-se abertos, e o método Muskingum-Cunge adaptados para condutos forçados, onde houver canalizações.

## 4.3. Área de Estudo

A área escolhida para a aplicação do estudo é uma sub-bacia do Córrego do Gregório. Optou-se por essa área, pois já foi alvo de outros trabalhos hidrológicos, havendo disponibilidade de informações necessárias e por não estar, ainda, totalmente urbanizada, possuindo uma boa porcentagem de área rural. A região estende-se desde a cabeceira do córrego e tem seu exutório no cruzamento da Rua Campos Salles com a Avenida Dr. Alfredo Maffei (figura 06).

A sub-bacia possui uma área de aproximadamente 10 km², dos quais aproximadamente 6 km² e 4 km² são correspondentes, respectivamente, à área rural e urbanizada. Geograficamente a sub-bacia está situada entre as coordenadas, UTM, 202000 a 208000 W e 7559800 a 7563500 S.

O Córrego do Gregório, situado no município de São Carlos – SP atravessa a parte mais densa da cidade, sendo o córrego que mais contribui para as cheias devido a crescente urbanização de sua bacia. Para Lira (2003), a situação é ainda mais agravante na parte central da cidade, onde áreas residenciais e comerciais são as mais atingidas e prejudicadas. As nascentes do córrego situam-se na parte leste do município, onde predomina o meio rural, com áreas de reflorestamento, plantações e pastagens.

Silva et al. (2003) adverte que os problemas com as enchentes urbanas em São Carlos podem vir a se agravar, pois a parte rural da bacia, a montante de onde ocorrem as enchentes hoje e onde estão localizadas as nascentes, vem mostrando uma maior tendência para o crescimento urbano da cidade. A impermeabilização desses setores aumentará o volume escoado com consequências ainda piores para a jusante.

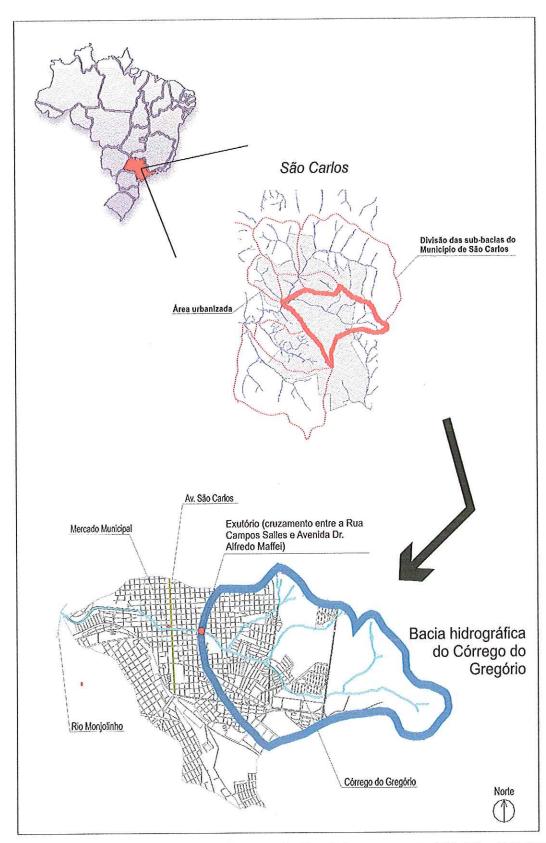


Figura 06 – Bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, sem escala (CDCC – USP/SC, 2002).

As características do uso e ocupação do solo foram obtidas através de análises sobre fotografias aéreas, na escala 1:8000, geradas pelo levantamento aerofotogramétrico da parte urbanizada do município pela Secretaria de Abastecimento de Água e Esgoto de São Carlos, em 1998, e digitalização no software AutoCAD, versão 2002. Para poder representar a situação atual, realizou-se um trabalho de campo com objetivo de averiguar onde e como houve a expansão urbana (Figura 09).

Para acompanhamento da expansão urbana, foi observada a evolução da mancha de ocupação do solo na sub-bacia, nos anos de 1962 e 1972 (figuras 07 e 08), também por análise de fotos, obtidas na Casa da Agricultura do Município de São Carlos. Ao comparar a urbanização ocorrida desde a década de 60 até as condições atuais, evidencia-se o aparecimento de novos loteamentos em direção à montante da bacia.

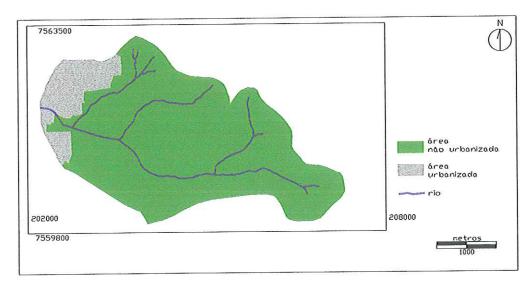


Figura 07 - Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 1962.

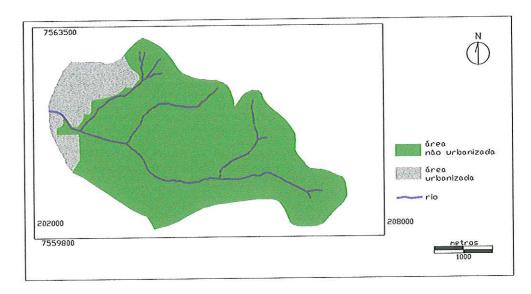


Figura 08 – Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 1972.

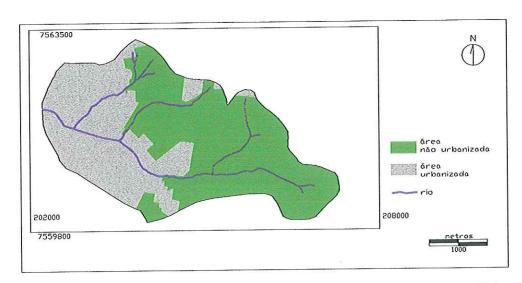


Figura 09 - Mancha urbana na sub-bacia do Córrego do Gregório, em 2004.

Das imagens foram extraídas as porcentagens de área urbanizada e não urbanizada para cada uma das datas. A expansão urbana fica evidente quando analisados esses valores. A área urbanizada que era de 11% em 1962, em 1972 somava 13%, chega a 42% em 2004. Crescimento que significa em hectares por ano, um crescimento de 2<sup>ha</sup>/<sub>ano</sub> no período entre 1962 e 1972, e crescimento de 9<sup>ha</sup>/<sub>ano</sub> no período entre 1972 e 2004, aproximadamente.

Mapeamentos realizados por Lorandi (1985) no município de São Carlos apresentam a Formação Serra Geral ocupando parte da área de fundo de vale da subbacia do Córrego do Gregório e a Formação Marília recobre o restante da área. Já quanto à pedologia, verifica-se a predominância do Latossolo Vermelho Amarelo, a presença do Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico em algumas áreas de fundo de vale, mais precisamente a oeste da sub-bacia e também ocorre a presença em alguns setores de Areias Quartzozas.

O mesmo autor (op. cit.) destaca que a formação pedológica, Latossolo Vermelho Amarelo, é predominante na região central do município, tendo sua formação originária associada aos sedimentos do grupo Bauru.

Essa constituição predominante é caracterizada por solos que geram escoamentos superficiais acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e são poucos profundos. Para o modelo, esse tipo de solo corresponde à classificação: Tipo C.

A carta topográfica da sub-bacia revela uma altitude do local que varia entre 810 e 945 metros, e permite a identificação dos principais cursos formadores e afluentes vinculados ao Córrego do Gregório (figura 10).

O alto e médio curso do Córrego do Gregório têm suas nascentes localizadas em áreas a leste, à direita da Rodovia Washington Luiz e recebem afluentes apenas pela sua margem direita, onde encontram-se o Córrego do Lazarine e o Córrego Invernada.

Destaca-se, também, um pequeno afluente, evidenciado pela topografía, mas que, devido à urbanização da área e, consequentemente, ao arruamento ali presente, seu médio e baixo cursos correspondem, grosso modo, à Rua Tia Caruzo. Seu exutório é revelado na figura 12, onde se observa ser um curso d'água canalizado e com escoamento exaurível.

A figura 11 destaca a hidrografía da sub-bacia demonstrando as declividades dos córregos.

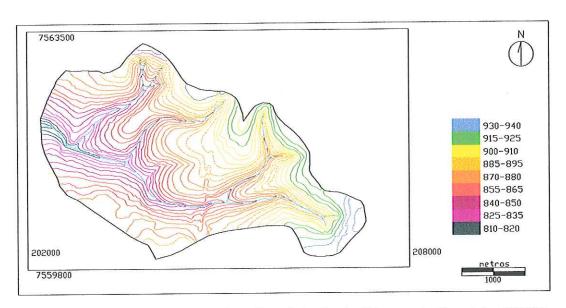


Figura 10 - Curvas planialtimétricas da sub-bacia do Córrego do Gregório (CDCC - USP/SC, 2001).

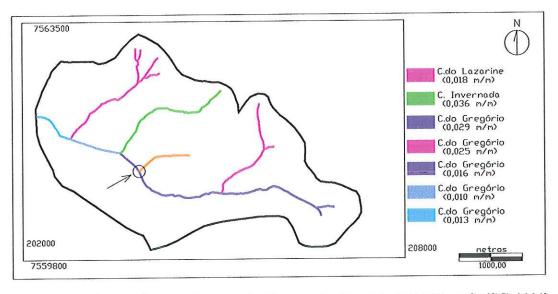


Figura 11 – Hidrografia da sub-bacia do Córrego do Gregório (CDCC – USP/SC, 2001)



Figura 12 — Foto do exutório do pequeno afluente canalizado e seco, indicado pela seta na figura 11, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor)

Para estimar os parâmetros geométricos e de rugosidade dos canais, Barbassa (1991) realizou um levantamento das seções transversais de toda a rede de micro e macro-drenagem da bacia, verificando o estado natural das calhas.

Com base nos estudos do autor (op. cit.), foi realizado um trabalho de campo onde se procurou verificar as informações existentes com as condições naturais atuais dos canais, concomitantemente com o levantamento geométrico e batimétrico de algumas seções características dos corpos d'água pertencentes à sub-bacia. As fotos ilustrativas das seções são encontradas nas figuras 13 a 20, e suas coordenadas são verificadas na tabela 22.

Tabela 22 - Coordenadas das seções medidas em campo.

a *	Coordenadas (UTM)		C	Coordenadas (UTM)		
Seções	W	S	Seções	W	S	
1	202250	7562040	5	203690	7561680	
2	202800	7561750	6	203840	7561150	
3	202860	7561650	7	203970	7560930	
4	203560	7561480	8	204790	7560780	

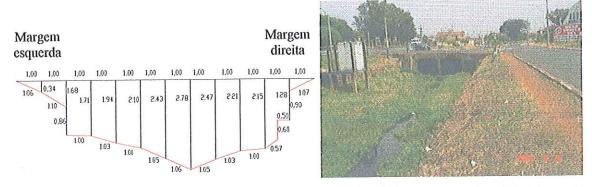


Figura 13 – Geometria e batimetria da seção 1 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

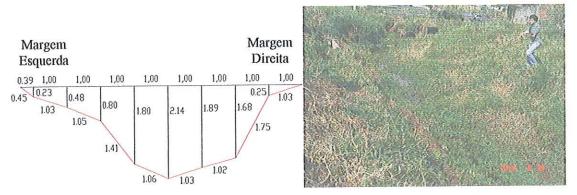


Figura 14 — Geometria e batimetria da seção 2 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

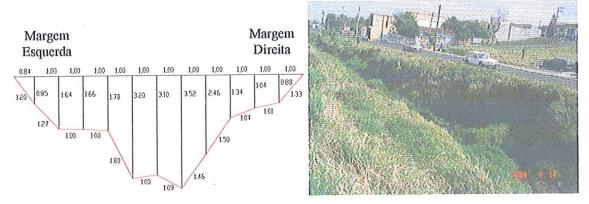


Figura 15 — Geometria e batimetria da seção 3 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

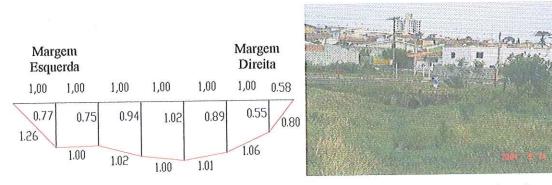


Figura 16 – Geometria e batimetria da seção 4 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

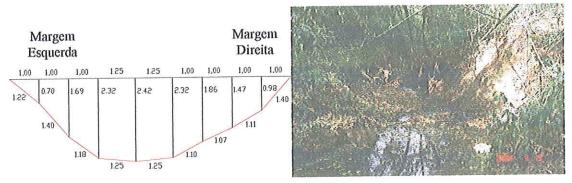


Figura 17 — Geometria e batimetria da seção 5 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

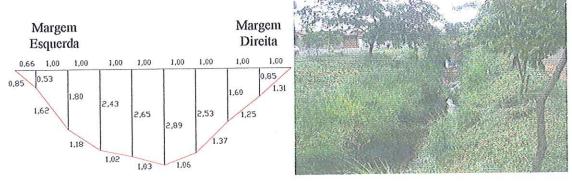


Figura 18 — Geometria e batimetria da seção 6 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

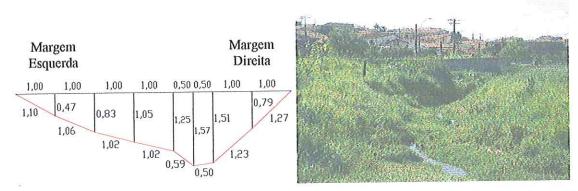


Figura 19 — Geometria e batimetria da seção 7 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido montante para jusante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

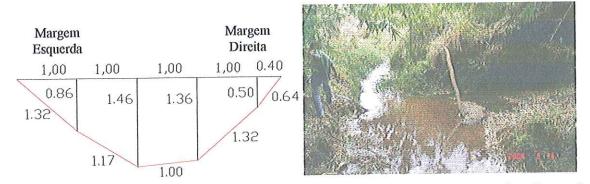


Figura 20 — Geometria e batimetria da seção 8 (medidas em metro), e foto ilustrativa das condições atuais do canal. A seção foi fotografada no sentido jusante para montante, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

Ao estudar as fotos, verifica-se a presença de estrangulamento da seção do canal em pontes para a travessia das ruas ortogonais (figura13). Essa redução na seção implica em menor vazão máxima de água escoada na seção, ocasionando efeito de remanso para a montante.

Com os dados obtidos das medições em campo e com as informações obtidas na literatura, por meio de Barbassa (1991) e Chow (1959), estimaram-se os valores de rugosidade médios (tabela 23) para os devidos trechos correspondentes às seções características analisadas nos canais da sub-bacia (figura 21).

Tabela 23 - Valores de rugosidade (Adaptados de BARBASSA (1991) e CHOW (1959)).

Elemento	Coef. de rugosidade de Manning	
Canal reto, em terra, com vegetação baixa.	0,027	
Canal com planície de inundação, pastagens com grama baixa.	0,030	
Canal reto, em terra, com vegetação de médio porte.	0,030	
Canal dragado em argilas e siltes, com taludes e bases irregulares, coberto por salgueiros, os taludes repletos de ervas daninhas e crescimento espalhado de salgueiros e choupos sem ramaria, algum silte na base do canal.	0,080	
Canal em terra, sinuoso, com vegetação natural densa e áreas de amortecimento.	0,110	

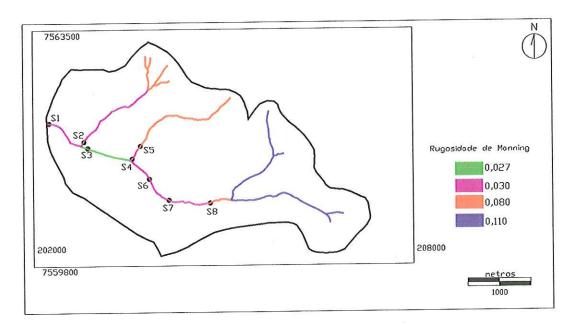


Figura 21 - Coeficiente de rugosidade de Manning na rede hidrográfica e localização das seções medidas em campo.

# 4.4. As Medidas de Controle

Estudada a bibliografia pertinente e com apoio nas legislações vigentes para o disciplinamento do uso e ocupação do solo, foram estabelecidos, em conjunto com o trabalho de Alves (2005), alguns cenários urbanísticos possuidores de medidas que poderão contribuir para o controle das inundações urbanas. São eles:

# **CENÁRIO 1) Natural**

Retorno às condições originais da sub-bacia, em toda sua extensão, préurbanizada, onde a vegetação existente era na sua grande maioria constituída por cerrado (na tabela 19 = florestas BOAS) e os leitos dos rios ainda eram protegidos por suas matas ciliares;

# CENÁRIO 2) Atual

Situação atual de como se encontra a sub-bacia, em 2004. É nesse cenário que serão realizadas a calibração e validação do modelo, para que depois possam ser aplicados na simulação dos demais cenários;

Cenário 3a) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos.

Seguindo as considerações estabelecidas pelo Projeto de Lei do Plano Diretor de São Carlos foi proposto um cenário com as seguintes características:

- 1) Mantiveram-se as características das áreas ocupadas urbanas já existentes;
- 2) As áreas marginais ao longo dos corpos d'água foram mantidas, respeitandose as áreas de especial interesse ambiental, de acordo com o Plano. Em locais já ocupados, procurou-se manter as áreas existentes. Já para os novos loteamentos e locais, onde possível, foi respeitada a faixa de proteção estipulada no Código Florestal, 30 metros para cada lado do rio e 50 metros de raio nas nascentes;
- 3) Para os novos loteamentos localizados na Zona de Ocupação Condicionada foram estabelecidas as seguintes porcentagens do total da área disponível:

- <u>Áreas públicas</u>: 18% da área total (seguindo o Plano), descontados os valores pertinentes às áreas de preservação permanente. Desses, destinaram-se 3% para áreas verdes permeáveis e 15% para áreas impermeáveis relacionadas com as áreas de lazer e institucional (valores verificados em campo);
- Ruas: 20% da área total, descontada a porcentagem de áreas públicas;
- Lotes: 5% para áreas verdes permeáveis e 95% para áreas impermeáveis, da área total descontados os valores destinados às áreas públicas e ao sistema viário (valores, verificados em campo). O Plano estabelece para essa zona uma reserva de 15% de área permeável, porém não foi seguido, pois a realidade não traduz essa porcentagem e em nível de lote a fiscalização torna-se impraticável.
- 4) Para os novos loteamentos localizados na Zona de Ocupação Restrita foram estabelecidas as seguintes porcentagens do total da área disponível:
- Áreas públicas: 18% da área total (seguindo o Plano), descontados os valores pertinentes à áreas de preservação permanente. Desses, destinaram-se 3% para áreas verdes permeáveis e 15% para áreas impermeáveis relacionadas com as áreas de lazer e institucional (valores verificados em campo);
- <u>Chácaras</u>: valores seguem as porcentagens, estabelecidas pelo Plano, de ocupação para a zona, ou seja, 30%, 30% e 40%, referentes, respectivamente, às taxas de ocupação, permeabilidade e de cobertura vegetal, retiradas da área total descontada as áreas públicas.
- Para os loteamentos localizados na Zona Agrícola, a área foi designada 100% à agricultura;
- 6) Para os loteamentos localizados na Zona Pastoril, a área foi designada 100% à prática da pastagem.

Cenário 3b) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos, porém as áreas rurais seguem a normas de expansão estabelecidas para a zona urbana, ou seja, fim da área rural da sub-bacia.

- 1) Idêntico ao item 1 do Cenário 3a;
- 2) Idêntico ao item 2 do Cenário 3a;
- 3) Para os novos loteamentos localizados tanto na Zona de Ocupação Restrita, como na Zona Agrícola e na Zona Pastoril, foram adotados os mesmos critérios de ocupação utilizados na Zona de Ocupação Condicionada, como no Cenário 3a.

Cenário 4a) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos, com adição de medidas complementares.

- 1) Idêntico ao item 1 do Cenário 3a;
- 2) Idêntico ao item 2 do Cenário 3a;
- 3) Para os novos loteamentos localizados na Zona de Ocupação Condicionada foram estabelecidas as seguintes porcentagens do total da área disponível:
- Áreas públicas: 18% (segundo o Plano), descontados os valores pertinentes à áreas de preservação permanente. Desses, destinaram-se 6 % para áreas verdes permeáveis, 6% para áreas institucionais e 6% para áreas de lazer, sendo que as duas últimas podem estar impermeabilizadas;
- Reserva legal: 20%, destinados como porcentagem de vegetação densa, além da área de preservação permanente ao longo dos canais e nascentes;
- Ruas arborizadas: 20% do total descontados os valores referentes às áreas públicas e reserva legal. Desses, 36% considerados como áreas tomadas pelas

projeções das árvores e 64% como áreas impermeáveis; números ilustrados a seguir.

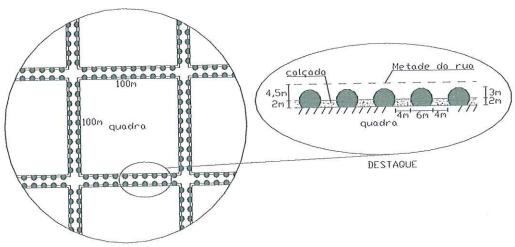


Figura 22 - Arborização das ruas.

A figura ilustrativa das medidas para os cálculos das áreas correspondentes às projeções das copas das árvores no solo e à parte das ruas e calçadas além das projeções. Consideradas como padrão quadras de 10.000m² de área 100m x 100m, árvores com copas de 6m de diâmetro podadas no limite com a propriedade e largura de ruas igual a 9m. O cálculo das porcentagens resultou que em uma área total destinada para uso residencial, comercial e sistema viário, aproximadamente 20% dessa destina-se à ruas e calçadas e dessas, em 36% referem-se às projeções das copas das árvores.

- <u>Lotes</u>: 5% para áreas verdes permeáveis e 95% para áreas impermeáveis, da área total descontados os valores destinados às áreas públicas, reserva legal e ao sistema viário (valores, verificados em campo).
- 4) Para os novos loteamentos localizados na Zona de Ocupação Restrita foram estabelecidas as seguintes porcentagens do total da área disponível:
- Áreas públicas: 18% (segundo o Plano), descontados os valores pertinentes à áreas de preservação permanente. Desses, destinaram-se 6 % para áreas verdes permeáveis, 6% para áreas institucionais e 6% para áreas de lazer, sendo que as duas últimas podem estar impermeabilizadas;

- Reserva legal: 20%, destinados como porcentagem de vegetação densa, além da área de preservação permanente ao longo dos canais e nascentes;
- <u>Chácaras</u>: valores seguem as porcentagens, estabelecidas pelo Plano, de ocupação para a zona, ou seja, 30%, 30% e 40%, referentes, respectivamente, às taxas de ocupação, permeabilidade e de cobertura vegetal, retiradas da área total descontada as áreas públicas e de reserva legal.
- 5) Para os loteamentos localizados na Zona Agrícola, a área foi designada em 20% para reserva legal (vegetação densa além das APPs) e 80% para o cultivo agrícola;
- 6) Para os loteamentos localizados na Zona Pastoril, a área foi designada em 20% para reserva legal (vegetação densa além das APPs) e 80% para a pastagem.

Cenário 4b) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos, com adição de medidas complementares, porém as áreas rurais seguem a normas de expansão estabelecidas para a zona urbana, ou seja, fim da área rural da sub-bacia.

- 1) Idêntico ao item 1 do Cenário 3a;
- 2) Idêntico ao item 2 do Cenário 3a;
- 3) Para os novos loteamentos localizados tanto na Zona de Ocupação Condicionada, Zona de Ocupação Restrita, como na Zona Agrícola e na Zona Pastoril, foram adotados os mesmos critérios de ocupação utilizados na Zona de Ocupação Condicionada, como no Cenário 4a.

Cenário 5a) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos, com adição de medidas complementares estabelecidas no Cenário 4a, aplicadas para a bacia toda ("O quê deveria ter ocorrido desde o início da urbanização").

- Para todos os corpos d'água e nascentes foram seguidas as medidas estipuladas no Código Florestal referentes às APPs (faixa distanciada em 30 metros para cada margem ao longo dos rios e circunferência com 50 metros de raio para as nascentes);
- As zonas de expansão situadas na área urbana da sub-bacia seguiram as medidas adotadas para a Zona de Ocupação Condicionada no Cenário 4a;
- 3) As Zonas de Ocupação Restrita, Agrícola e Pastoril adotaram as medidas referentes a essas mesmas zonas do Cenário 4a.

Cenário 5b) Futuro, com expansão urbana seguindo as diretrizes do Projeto de Lei do Plano Diretor do Município de São Carlos, com adição de medidas complementares estabelecidas no Cenário 5a, porém as áreas rurais seguem a normas de expansão estabelecidas para a zona urbana, ou seja, fim da área rural da sub-bacia.

- 1) Idêntico ao item 1 do Cenário 5a;
- 2) Para os novos loteamentos localizados tanto nas zonas urbanas como nas zonas rurais, foram adotados os mesmos critérios de ocupação utilizados na Zona de Ocupação Condicionada, como no Cenário 4a.

Observa-se nas medidas, que os cenários 3b, 4b e 5b retratam condições futuras de expansão urbana na sub-bacia, desrespeitando as restrições referentes à área rural, onde está prevista no Projeto de Lei a ocupação por chácaras de recreio, ou seja, aplicou-se na região a expansão comum à área urbana.

Cabe aqui ressaltar que as simulações iniciais consideraram a rede hidrográfica da sub-bacia em sua situação atual, com a existência de algumas

canalizações, exceção feita ao cenário 1 (natural). Posteriormente simularam-se os mesmos cenários retirando as canalizações para comparação dos resultados.

### 4.5. A Capacidade de Suporte do Canal

Considerando-se como capacidade de suporte, em termos quantitativos, a vazão máxima suportada pelo canal em uma determinada seção, calculou-se, com o software FlowMaster (HAESTAD METHODS, 2002), a referida vazão em algumas seções de controle, anteriormente citadas e analisadas, distribuídas ao longo da rede de drenagem.

O software FlowMaster é um programa computacional de fácil uso que ajuda os profissionais da área em projetos hidráulicos e estudos sobre escoamentos em tubulações, sarjetas, trincheiras, canais abertos, orifícios e outros. Os escoamentos são calculados através de equações de perdas como: Darcy-Weisbach; Manning's; Kutter's; Hazen-Williams.

Neste estudo foi utilizada a Equação de Manning (equação 4.9), pelo fato de ser a mais comumente utilizada para estudos sobre canais abertos. Seus parâmetros de entrada são: o Coeficiente de Rugosidade de Manning; a declividade dos trechos (aproximadamente 150 metros a montante e a jusante da seção); a geometria da seção.

$$V = \frac{k}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot S^{1/2} \tag{4.9}$$

onde: V = velocidade média na seção (m/s);

k = 1 para medidas no Sistema Internacional de Unidades (SI);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

Rh = raio hidráulico (m);

S = declividade do trecho (m/m)

Como a velocidade corresponde a razão entre a vazão e a área da seção, encontra-se a vazão solicitada pela equação 4.10.

$$Q = V.A \tag{4.10}$$

onde:  $Q = vazão (m^3/s);$ 

V = velocidade (m/s);

A = área da seção transversal do escoamento (m²)

As vazões máximas suportadas para cada seção de controle foram estabelecidas respeitando as condições atuais da bacia e estão apresentadas na tabela 24. Tanto os valores dos parâmetros de entrada como os resultados detalhados calculados pelo programa são apresentados no anexo A.

Tabela 24 - Vazões máximas suportadas pelas seções de controle apresentadas na figura 21.

Seção 01	95 m³/s	Seção 05	43 m <sup>3</sup> /s
Seção 02	39 m³/s	Seção 06	81 m³/s
Seção 03	101 m³/s	Seção 07	$22 \text{ m}^3/\text{s}$
Seção 04	23 m³/s	Seção 08	$5 \text{ m}^3/\text{s}$

## 4.6. Precipitações Observadas e de Projeto

Para a fase de calibração e validação do modelo foram utilizados quatro eventos de chuva observados, os eventos A, B e C, medidos através do pluviômetro instalado na seção do Fórum municipal, próximo ao exutório da sub-bacia, e o evento D, obtido através do pluviógrafo localizado na estação climatológica no interior da Faculdade de Direito de São Carlos, ao norte da sub-bacia. Dados fornecidos pelo Núcleo Integrado de Bacias Hidrográfica (NIBH, 2004b).

Na análise dos cenários aplicaram-se chuvas de projeto com período de retorno de 10, 25 e 50 anos, usuais em macro-drenagem urbana, e também, o evento crítico ocorrido no dia 19 de Dezembro de 2004, comentado no capítulo 3, que inundou a região do Mercado Municipal (evento D).

As chuvas de projeto foram obtidas através da curva I-D-F de São Carlos. Equação obtida a partir de 30 anos de dados pluviográficos, coletados de um posto do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado na bacia (BARBASSA, 1991):

$$i = \frac{1519 \cdot Tr^{0,236}}{(16+d)^{0,935}} \tag{4.11}$$

onde: i = intensidade da chuva (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos);

d = duração da chuva (min).

A reordenação temporal adotada utilizou o Método dos Blocos Alternados, desenvolvido para aplicação em hietogramas de projeto (CHOW et al., 1998), onde os blocos, ou incrementos, são reordenados em uma sequência de tempo com o bastão de maior intensidade postado no centro da distribuição temporal e os demais arranjados de modo decrescente em ordem alternada, com o segundo a direita, o terceiro a esquerda e assim sucessivamente, ou seja, segundo a ordem: 7 5 3 1 2 4 6, onde 1 representa o bastão com maior valor de chuva, 2 o segundo e assim por diante.

A duração da chuva utilizada nas precipitações de projetos foi determinada fundamentada no tempo de concentração da sub-bacia, aproximadamente 45 minutos.

As figuras 23 a 27, apresentam as precipitações observadas e de projeto adotadas para a sub-bacia do Córrego de Gregório estudada.

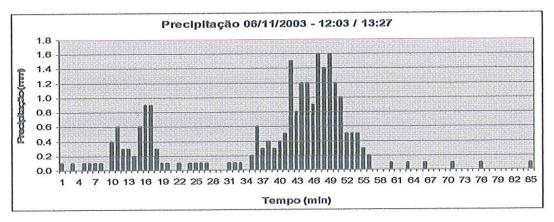


Figura 23 – Hietograma do evento A, observado no dia 06 de Novembro de 2003, com intervalo de tempo de 1 minuto (NIBH, 2004b).

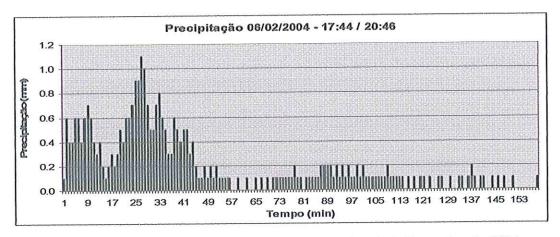


Figura 24 – Hietograma do evento B, observado no dia 06 de Fevereiro de 2004, com intervalo de tempo de 1 minuto (NIBH, 2004b).

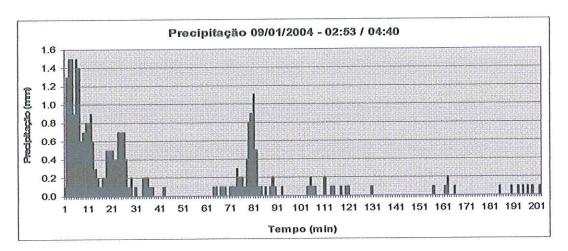


Figura 25 – Hietograma do evento C, observado no dia 09 de Janeiro de 2004, com intervalo de tempo de 1 minuto (NIBH, 2004b).

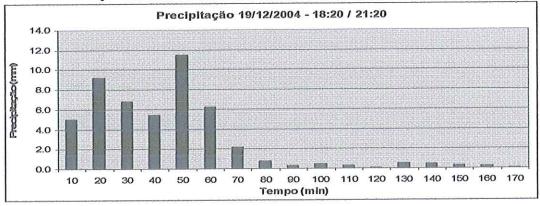


Figura 26 – Hietograma do evento D, observado no dia 19 de Dezembro de 2004, com intervalo de tempo de 10 minutos (NIBH, 2004b).

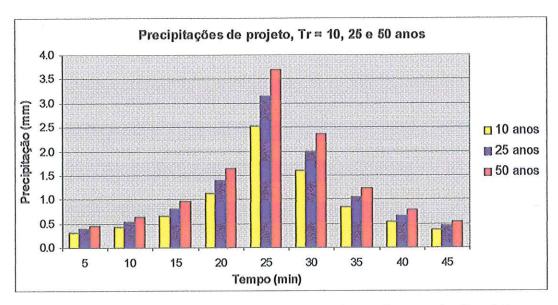


Figura 27 - Hietograma de projeto para a sub-bacia do Córrego do Gregório, para tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

Considerando-se que a sub-bacia possui uma área relativamente pequena, aproximadamente 10 km², optou-se por adotar precipitações uniformes na escala espacial em toda a região, tanto para as tormentas de projeto como para as observadas.

# CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos durante o período de desenvolvimento da pesquisa. O modelo IPHS-1 foi aplicado na sub-bacia do Córrego do Gregório, caracterizada no capítulo anterior, na cidade de São Carlos, SP.

## 5.1. Discretização dos Cenários

Como o modelo utilizado é do tipo concentrado, que considera características homogêneas para cada região, e como a sub-bacia estudada possui características heterogêneas ao longo de sua área, tornou-se necessária a divisão da sub-bacia em outras sub-bacias, ainda menores, para buscar atingir uma melhor homogeneização dos parâmetros para cada nova região. Essa divisão foi realizada de acordo com as curvas de nível do local e será respeitada em todos os cenários.

A divisão da sub-bacia é ilustrada na figura 28. A bacia foi dividida em 18 sub-bacias, das quais 8 contribuem pontualmente (SB4, SB5, SB6, SB9, SB14, SB15, SB17, SB18) e demais aportam de modo distribuído.

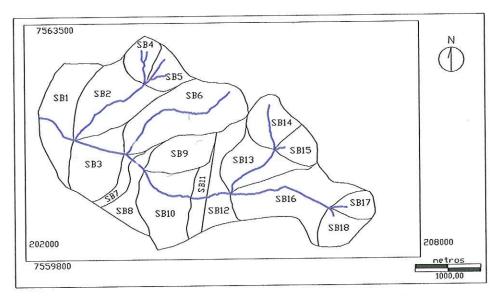


Figura 28 - Sub-bacia do Córrego do Gregório dividida em 18 sub-bacias para melhorar a homogeneização dos parâmetros.

A tabela 25 apresenta algumas características das sub-bacias resultantes das divisões, como área (A), desnível (D) e distância (L) do ponto mais longínquo da bacia até o exutório (linha reta). Essas propriedades, comuns para todos os cenários, são parâmetros de entrada do modelo hidrológico.

Tabela 25 - Medidas das sub-bacias resultantes da divisão.

Sub-bacias	Área (km²)	Desnível (m)	Distância (km)
1	0,862	77	1,277
2	0,940	80	1,801
3	0,741	52	1,277
4	0,269	60	0,747
5	0,283	65	0,752
6	1,314	92	2,029
7	0,156	50	0,952
8	0,362	57	1,241
9	0,486	65	1,242
10	0,845	57	1,280
11	0,256	49	0,944
12	0,511	78	1,384
13	0,592	70	1,447
14	0,443	50	0,872
15	0,262	58	0,673
16	1,138	81	2,066
17	0,212	47	0,717
18	0,304	42	0,722

A hidrografia atual, em um primeiro momento, foi considerada comum para todos os cenários, exceção feita ao cenário 1 (natural), considerando algumas canalizações existentes ao longo da rede, provenientes do processo de urbanização e, posteriormente, foram analisados os resultados obtidos com a descanalização e comparados com os anteriores. A rede atual apresenta-se ilustrada na figura 29 e seus parâmetros de entrada para o modelo são discretizados nas tabelas 26 e 27.

As seções naturais dos canais seguem as medidas obtidas em campo, figuras de 13 a 20, consideradas características para os trechos avaliados. Como o modelo de propagação em canais utilizado trabalha com escoamento em seções retangulares, as seções naturais reais medidas em campo foram, então, "retangularizadas", e procurou-se, como critério para transformação, a manutenção do raio hidráulico (Área molhada / Perímetro molhado) de cada uma delas. As comparações dos raios hidráulicos estão apresentadas na tabela 28.

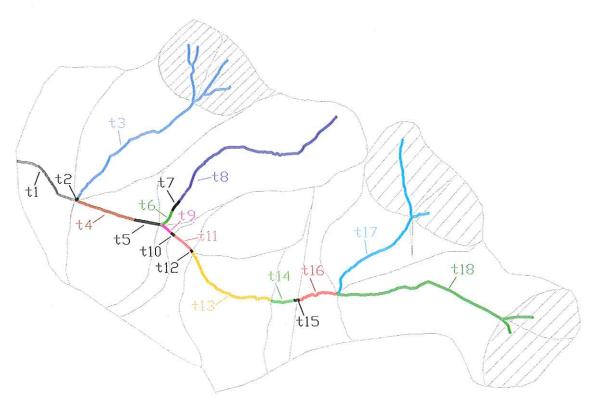


Figura 29 - Discretização em trechos da rede hidrológica atual. As cores atuam na diferenciação dos trechos de rio.

Tabela 26 - Discretização dos cursos naturais do sistema drenante da sub-bacia do Córrego do Gregório.

Trecho	Comprimento (m)	Cota superior	Cota inferior	Rugosidade	Geometria H x L (m)
1	679,85	820	810	0,03	1,82 x 11,04
3	1422,3	848	820	0,03	1,27 x 7,25
4	603,9	822	820	0,027	2,00 x 10,65
6	93,5	827	825	0,03	0,90 x 5,33
8	2113,1	900	825	0,08	2,40 x 6,20
9	116,6	828	825	0,03	2,30 x 6,60
11	210.00	832,8	829	0,03	2,30 x 6,60
13	921,6	846	433	0,03	0,95 x 6,74
14	223,6	848	846	0,03	1,40 x 2,90
16	363,5	856	849	0,08	1,40 x 2,90
17	1017,39	870	856	0,11	1,40 x 2,90
18	1603,73	893	856	0,11	1,40 x 2,90

Tabela 27 – Discretização dos cursos canalizados do sistema drenante da sub-bacia do Córrego do Gregório e rugosidade de Manning para canais de concreto segundo Chow (1959).

					Geometria (	m)		
Trecho	Comprimento (m)	Cota superior	Cota inferior	1	se	ção	Rugosidade	
		_	1	canal	circular (diâm.)	retangular (HxL)		
				principal	-	1,8x1,5	0,015	
2	20	820,4	820	paralelo	1,2	72	0,015	
	22272			paralelo	1,2	-	0,015	
				principal	1,5	-	0,015	
5	196,6	825	822	paralelo	1,7	-	0,015	
	1000-1300-1300-1			paralelo	1,7	//=	0,015	
7	81,8	831	827	principal	1,5	-	0,015	
				principal	1,2	2	0,015	
10	53,9	829	828	paralelo	1,2	-	0,015	
	300000			paralelo	1,2	-	0,015	
12	13	833	832,8	principal	g 9 <b>4</b>	2,5x2,5	0,015	
27.0000		0.40	-	principal	1,2	-	0,015	
15	41,3	849	848	paralelo	1,2	-	0,015	

Tabela 28 — Comparação entre os raios hidráulicos das seções reais observadas em campo e as seções "descanalizadas".

	Nova	Ra	io hidráulico (m)	Área molhada (m2)			
Seção	dimensão (m)	Seção Real	Seção "retangularizada"	Seção Real	Seção "retangularizada"		
1	1 1,82 x 11,04 1,38		1,37	20,1	20,1		
2	1,27 x 7,25	0,94	0,94	9,2	9,2		
3	2,00 x 10,65	1,45	1,45	21,3	21,3		
4	0,90 x 5,33	0,67	0,67	4,8	4,8		
5	2,40 x 6,20	1,35	1,35	14,9	14,9		
6	2,30 x 6,60	1,42	1,39	15,2	15,2		
7	0,95 x 6,74	0,74	0,74	6,4	6,4		
8	1,40 x 2,90	0,73	0,71	4,0	4,0		



A discretização da hidrografia foi realizada baseada nos parâmetros de entrada do modelo hidrológico. Uma observação é feita a respeito das sub-bacias que contribuem pontualmente, ou seja, que atuam de modo concentrado na descarga do escoamento, regiões destacadas na figura 29, essas não terão seus trechos de rio discretizados, por não serem considerados no modelo. Os parâmetros de rugosidade para os canais foram estabelecidos de acordo com os valores, anteriormente, listados e apresentados na tabela 23 e figura 21.

Para o estudo da descanalização, os fragmentos modificados dos corpos d'água assumiram as características do trecho natural imediatamente a montante.

Para o cenário 1, verificou-se a retomada das condições naturais, tanto da bacia como do sistema drenante, numa tentativa de "voltar as origens", com existência da vegetação cerrado por toda a bacia (100% florestas boas), corredores verdes de áreas de várzea ao longo dos cursos d'água com vegetação densa, além de serem retiradas todas as canalizações existentes atualmente (figura 30).

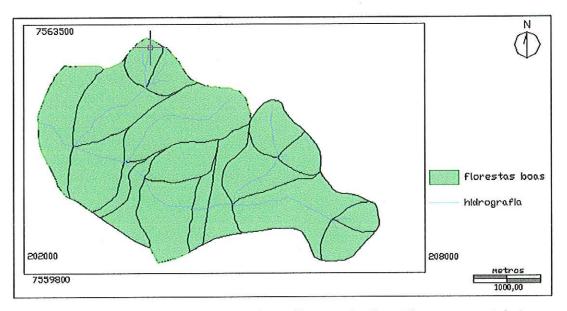


Figura 30 - Uso do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 1.

O cenário 2, considera as condições atuais da sub-bacia. A análise da figura 31, correspondente ao mapa de uso do solo, evidencia a alta taxa de impermeabilização na área urbanizada da bacia e ainda um uso predominantemente rural na região não urbanizada, onde se destaca a presença de grandes áreas de

pastagens. A tabela 29 apresenta as porcentagens correspondentes aos usos em cada sub-bacias.



Figura 31 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 2.

Tabela 29 – Usos do solo nas sub-bacias para o cenário 2.

	Área - Sub-bacias									
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parque	2.2%	1.0%	0.4%	0.1%	9.4%	3.2%	8.7%	3.3%	0.0%	
Residencial/Comercial	65.6%	44.9%	52.7%	18.9%	1.2%	7.8%	(- In In	26.7%	7.6%	
Industrial	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.9%	0.0%	15.4%	0.0%	
Chão batido	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.5%	0.0%	
Agricultura	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	2.2%	6.2%	0.0%	0.0%	0.0%	
Terrenos baldios	6.0%	18.3%	28.2%	16.2%	0.6%	16.5%	33.3%	32.1%	43.5%	
Zonas florestais BOAS	0.0%	5.4%	0.0%	22.1%		9.7%	0.0%	0.0%	0.0%	
Zonas florestais RUINS	12.9%	16.8%	0.3%	33.8%	22.4%	16.3%	0.1%	3.9%	0.0%	
Pastagem	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	32.0%	0.0%	0.0%	43.7%	
Arruamento	13.2%	12.9%	18.4%	8.9%	0.3%	6.3%	14.7%	14.2%	5.2%	
				Área	- Sub-	bacias				
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Parque	2.1%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Residencial/Comercial	17.1%	1.0%	0.6%	0.9%	6.6%	0.0%	0.8%	0.9%	0.0%	
Industrial	6.4%	3.0%	4.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Chão batido	5.7%	0.6%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Agricultura	0.6%	0.0%	2.9%	1.6%	3.3%	29.5%	8.2%	39.7%	0.0%	
Terrenos baldios	31.3%	69.7%	26.9%	0.0%	8.4%	7.2%	3.5%	0.0%	7.7%	
Zonas florestais BOAS	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.7%	0.0%	12.5%	
Zonas florestais RUINS	21.3%	6.1%	3.8%	8.4%	10.8%			2.8%	2.0%	
Pastagem	5.4%	0.0%	53.0%	88.5%	68.7%			55.5%		
Arruamento	10.0%	18.6%	7.3%	0.1%	2.3%	0.0%	5.3%	1.0%	4.4%	

As porcentagens totais para cada uso no cenário 2, extraídas da tabela acima, para toda a sub-bacia estudada são encontradas na figura 32, abaixo.

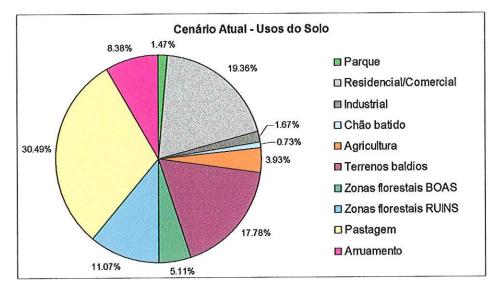


Figura 32 – Usos do solo totais da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 2.

As figuras 33 a 38 e tabelas 30 a 35, a seguir, apresentam a distribuição das áreas alusivas ao uso do solo proposta para os demais cenários: 3a, 3b, 4a, 4b, 5a e 5b. Observa-se que as áreas de terrenos baldios foram consideradas ocupadas por residências.

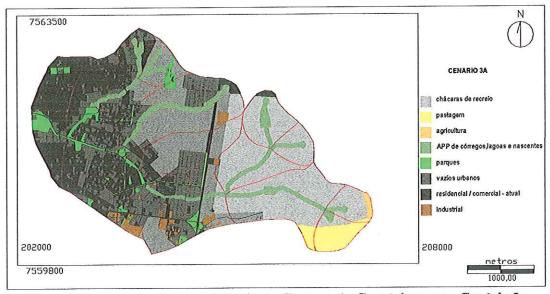


Figura 33 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 3a.

Tabela 30 – Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 3a. As zonas de ocupação condicionada e restrita são representadas por Z2 e Z5A, respectivamente.

				Área	- Sub-	bacias			
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Residencial (antigo)	57.8%	48.0%	52.7%	19.0%	1.2%	7.8%	43.3%	26.7%	7.6%
Residencial (ocupação)	10.6%	20.2%	22.8%	30.2%	0.0%	17.8%	30.7%	42.1%	23.3%
Industrial	-	-	-	( <u>101</u> )	-	1.9%	-	15.1%	-
Área Verde (floresta)	-	1.8%	-	20.7%	18.3%	12.1%	-	0.0%	1#
Área Verde (parques)	14.6%	10.1%	5.6%	0.1%	9.2%	2.2%	7.5%	8.1%	0.1%
Ruas (antigas)	17.1%	12.0%	18.9%	12.3%	0.3%	6.3%	18.5%	6.3%	5.2%
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	-	1.4%	-	3.2%	12.8%	8.3%	-	0.3%	11.5%
Ruas		1.3%	-	2.8%	11.4%	7.4%	-	0.3%	10.2%
Lotes	-	5.3%	-	11.6%	46.9%	30.5%	-	1.2%	42.1%
Novos loteamentos (Z 5A)									
Áreas Públicas	-	-	-	-	-	1.0%	-	-	-
Chácaras	_	-	-	-	-	4.6%	255	-	-
Pastagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agricultura	-	-	-	-		-		-	-
				Área	- Sub-	bacias			
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Residencial (antigo)	17.1%	1.0%	1.8%	0.9%	4.4%	-	0.6%	0.7%	-
Residencial (ocupação)	36.7%	62.5%	-	-	•		-	-	-
Industrial	9.3%	3.0%	4.0%	0.5%	-	-	-	-	
Área Verde (floresta)	4.2%	5.4%	4.3%	10.1%	15.9%	12.6%	9.3%	10.4%	6.3%
Área Verde (parques)	1.5%	12.2%	1.8%	-	-	-	-:	-	-
Ruas (antigas)	12.0%	15.9%	7.4%	-	1.1%		5.3%	1.0%	-
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	3.5%	-	9.0%	0.3%	-	-	0.9%	-	-
Ruas	3.1%	-	8.0%	0.3%	-	-	0.8%	-	-
Lotes	12.7%	-	32.8%	1.2%	-	-	3.3%	-	14
Novos loteamentos (Z 5A)									
Áreas Públicas	-	-	5.6%	15.6%	14.1%	15.7%			
Chácaras	-	-	25.4%	71.0%	64.5%	71.7%			15.6%
Pastagem	-	-	- x	-	-	-	5.1%	3.7%	74.6%
Agricultura		-	-	-	-		-	14.4%	£=

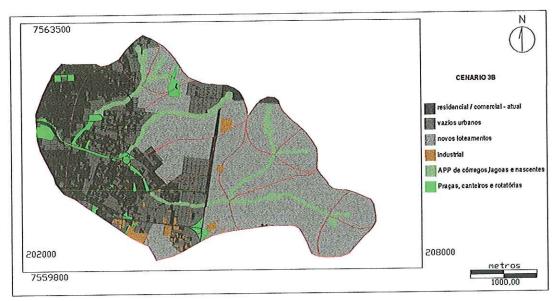


Figura 34 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 3b.

Tabela 31 – Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 3b. A zona de ocupação condicionada é representada por Z2.

			I	rea (%	) - Su	b-bacia:	9		
Zonas	1	2	3	4.	5	6	7	8	9
Residencial (antigo)	57.8%	48.0%	52.7%	19.0%	1.2%	7.8%	43.3%	26.7%	7.6%
Residencial (ocupação)	10.6%	20.2%	22.8%	30.2%	-	17.8%	30.7%	42.1%	23.3%
Industrial	-	-	-	-	-	1.9%	_	15.1%	-
Área Verde (floresta)	-	1.8%		20.7%	18.3%	12.1%	-	-	-
Área Verde (parques)	14.6%	10.1%	5.6%	0.1%	9.2%	2.2%	7.5%	8.1%	0.1%
Ruas (antigas)	17.1%	12.0%	18.9%	12.3%	0.3%	6.3%	18.5%	6.3%	5.2%
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	-	1.4%	-	3.2%	12.8%	9.3%	-	0.3%	11.5%
Ruas	-	1.3%	-	2.8%	11.4%	8.3%	-	0.3%	10.2%
Lotes	-	5.3%	-	11.6%	46.9%	34.2%	-	1.2%	42.1%
			1	rea (%	) - Su	b-bacia	S		
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Residencial (antigo)	17.1%	1.0%	1.8%	0.9%	4.4%		0.6%	0.7%	-
Residencial (ocupação)	36.7%	62.5%	-	-	s=	-:	-	-	-
Industrial	9.3%	3.0%	4.0%	0.5%	-	-	-	-	-
Área Verde (floresta)	4.2%	5.4%	4.3%	10.1%	15.9%	12.6%	9.3%	10.4%	6.3%
Área Verde (parques)	1.5%	12.2%	1.8%	-	7-		-	- 1	-
Ruas (antigas)	12.0%	15.9%	7.4%	-	1.1%	•	5.3%	1.0%	-
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	3.5%	-:	14.5%	15.9%	14.1%	15.7%	15.3%	-	
Ruas	3.1%	-	12.9%	14.2%	12.6%	14.0%	13.6%	14.1%	15.0%
Lotes	12.7%	-	53.2%	58.4%	51.9%	57.7%	56.0%	58.0%	61.8%

Tabela 32 – Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 4a. As zonas de ocupação condicionada e restrita são representadas por Z2 e Z5A, respectivamente.

				Area (	%) - Sub			0 1	T 0	
Zonas	1	2	3	4	5	- 6	1	8	9	
Residencial (antigo)	57.8%	48.0%	52.7%	19.0%	1.2%	7.8%	43.3%	26.7%	7.6%	
Residencial (ocupação)	10.6%	20.2%	22.8%	30.2%	7.0	17.8%	30.7%	421%	23.3%	
ndustrial		•		•	-	1.9%	-	15.1%		
rea Verde (floresta)	-	1.8%	-	20.7%	18.3%	121%	-	-		
rea Verde (parques)	14.6%	10.1%	5.6%	0.1%	9.2%	22%	7.5%	8.1%	0.1%	
Ruas (antigas)	17.1%	120%	18.9%	123%	0.3%	6.3%	18.5%	6.3%	5.2%	
lovos loteamentos (Z 2)										
vreas Públicas	-	1.4%	-	3.2%	12.8%	8.3%	-	0.3%	11.5%	
Reserva Legal	7-	1.6%	-	3.5%	14.2%	9.3%	-	0.4%	12.8%	
dias		1.0%	-	21%	8.5%	5.6%	-	0.2%	7.7%	
des	12	4.0%	-	8.8%	35.5%	23.1%	•	0.9%	31.9%	
Novos loteamentos (Z 5A)	de la Santa de la Caracteria de la Carac									
Áreas Públicas	-	· .	-		-	1.0%	-	-		
Reservational	-		-		-	1.1%	-	-	-	
Chácaras			-	•	-	3.5%	-	-		
Zona de Pastagem										
Reserva Legal		-				-	-		-	
Pastagem	-	-	-	-	-	-	-	-	•	
Zona Agrícola			A							
Reserva Legal	-	-		-	-		-		•	
Agricultura	-	-	-	-	-		-	•	-	
	STATE OF L			Área	(%) - Sul	)-bacias				
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Residencial (antigo)	17.1%	1.0%	1.8%	0.9%	4.4%		0.6%	0.7%	-	
Residencial (ocupação)	36.7%	62.5%	-	-	-	-	-	-	-	
Industrial	9.3%	3.0%	4.0%	0.5%		-	-	-	-	
Área Verde (floresta)	4.2%	5.4%	4.3%	10.1%	15.9%	12.6%	9.3%	10.4%	6.3%	
Área Verde (parques)	1.5%	12.2%	1.8%				-	-	-	
Ruas (antigas)	120%	15.9%	7.4%	5 20	1.1%		5.3%	1.0%	-	
Novos loteamentos (Z 2)	12,010	10.0.0		10000			(C)		1	
Áreas Públicas	3.5%	Τ.	9.0%	0.3%	-	-	0.9%	-		
Reserva Legal	3.8%		9.9%	0.4%		-	1.0%			
Ruas	23%	-	6.0%	0.2%	-	-	0.6%	-	-	
Lotes	9.6%		24.9%	0.9%	-	-	25%	w	-	
Lues	0.070		1							
	T					45.70/	13.4%	126%	3.4%	
Novos loteamentos (Z 5A)		Т-	56%	15.6%	14.1%	15.7%	13.4%	12070		
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas	-	-	5.6%	15.6% 17.3%		15.7% 17.5%	14.9%	14.0%	3.8%	
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal	-	-	6.2%	17.3%	15.7%				3.8% 11.8%	
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal Chácaras		-				17.5%	14.9%	14.0%		
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal Chácaras Zona de Pastagem		i	6.2%	17.3%	15.7%	17.5%	14.9%	14.0%	11.8%	
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal Chácaras Zona de Pastagem Reserva Legal	-	-	6.2% 19.2%	17.3% 53.7%	15.7% 48.7%	17.5% 54.2%	14.9% 46.3%	14.0% 43.3%		
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal Chácaras Zona de Pastagem Reserva Legal Pastagem		-	6.2% 19.2%	17.3% 53.7%	15.7% 48.7%	17.5% 54.2%	14.9% 46.3%	14.0% 43.3% 0.7%	11.8%	
Novos loteamentos (Z 5A) Áreas Públicas Reserva Legal Chácaras Zona de Pastagem Reserva Legal		-	6.2% 19.2%	17.3% 53.7%	15.7% 48.7%	17.5% 54.2%	14.9% 46.3%	14.0% 43.3% 0.7%	11.8%	

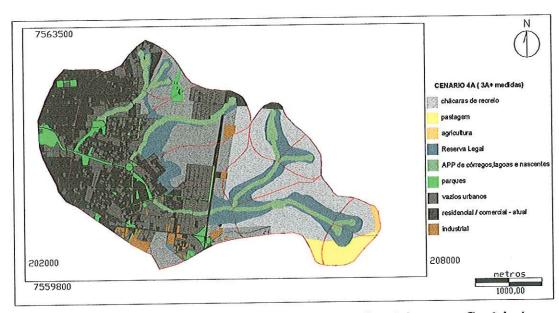


Figura 35 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 4a.

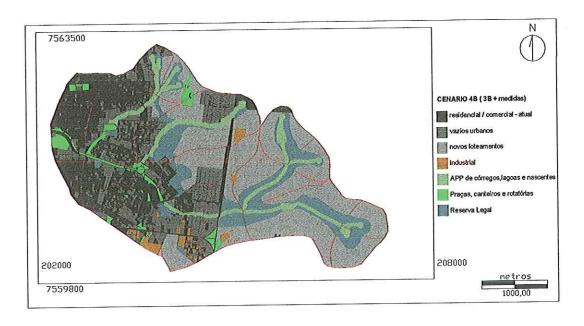


Figura 36 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 4b.

Tabela 33 – Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 4b. A zona de ocupação condicionada é representada por Z2.

	1			Área (%	%) - S	ub-baci	as		
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Residencial (antigo)	57.8%	48.0%	52.7%	19.0%	1.2%	7.8%	43.3%	26.7%	7.6%
Residencial (ocupação)	10.6%	20.2%	22.8%	30.2%	-	17.8%	30.7%	42.1%	23.3%
Industrial	-	-	-	-	•	1.9%	•	15.1%	•
Área Verde (floresta)	-	1.8%	0.0%	20.7%	18.3%	12.1%	-	-	-
Área Verde (parques)	14.6%	10.1%	5.6%	0.1%	9.2%	2.2%	7.5%	8.1%	0.1%
Ruas (antigas)	17.1%	12.0%	18.9%	12.3%	0.3%	6.3%	18.5%	6.3%	5.2%
Novos loteamentos (Z 2)		1001001-0101							
Áreas Públicas		1.4%	-	3.2%	12.8%	9.3%	-	0.3%	11.5%
Reserva Legal	-	1.6%		3.5%	14.2%	10.4%	-	0.4%	12.8%
Ruas	-	1.0%		2.1%	8.5%	6.2%	-	0.2%	7.7%
Lotes	-	4.0%	•	8.8%	35.5%	25.9%	-	0.9%	31.9%
<b>7</b>				Área (	%) - S	ub-bac	as		
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Residencial (antigo)	17.1%	1.0%	1.8%	0.9%	4.4%	-	0.6%	0.7%	-
Residencial (ocupação)	36.7%	62.5%		-	-	-	-	-	•
Industrial	9.3%	3.0%	4.0%	0.5%	-	-	-	-	
Área Verde (floresta)	4.2%	5.4%	4.3%	10.1%	15.9%	12.6%	9.3%	10.4%	6.3%
Área Verde (parques)	1.5%	12.2%	1.8%	-	•	-	-	-	-
Ruas (antigas)	12.0%	15.9%	7.4%	-	1.1%	-	5.3%	1.0%	-
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	3.5%	-	14.5%	15.9%	14.1%	15.7%	15.3%	15.8%	16.9%
Reserva Legal	3.8%	-	16.1%	17.7%	15.7%	17.5%	-		18.7%
Ruas	2.3%		9.7%	10.6%	9.4%	10.5%		10.5%	11.2%
Lotes	9.6%	-	40.3%	44.2%	39.3%	43.7%	42.4%	43.9%	46,8%



Figura 37 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o Cenário 5a.

Tabela 34 – Usos do solo nas sub-bacias para o Cenário 5a. As zonas de ocupação condicionada e restrita são representadas por Z2 e Z5A, respectivamente.

П	- 12		, A	rea (%	) - Su	b-bacias			
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
APPs	4.7%	7.4%	6.4%	19.3%	18.4%	10.0%	5.3%	4.0%	0.2%
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	13.7%	13.3%	13.5%	11.6%	11.7%	12.2%	13.6%	13.8%	14.4%
Reserva Legal	19.1%	18.5%	18.7%	16.1%	16.3%	16.9%	18.9%	19.2%	20.0%
Ruas	12.5%	12.1%	12.3%	10.6%	10.7%	11.1%	12.4%	12.6%	13.1%
Lotes	50.0%	48.6%	49.1%	42.3%	42.8%	44.3%	49.7%	50.4%	52.4%
Novos loteamentos (Z 5A)									
Áreas Públicas	-	-			-	0.8%	( <del>-</del>	•	•
Reserva Legal	_	-	-	-		1.1%	-	-	-
Chácaras	-	-	0-		-	3.7%	-	_	•
Zona de Pastagem									
Reserva Legal	-	-	-	-			_	-	-
Pastagem	-	-		<b>.</b>	•		-	-	-
Zona Agrícola									
Reserva Legal	-	-		#:	-	-	-	-	-
Agricultura	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zonas			1	Area (%	) - Su	b-bacia	8		
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
APPs	6.4%	5.6%	4.5%	10.1%	15.6%	12.6%	9.3%	10.4%	6.3%
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	13.5%	13.6%	9.3%	0.1%	0.7%	-	0.8%	-	1940
Reserva Legal	18.7%	18.9%	12.9%	0.2%	1.0%	-	1.2%	-	
Ruas	12.3%	12.4%	8.5%	0.1%	0.7%	-	0.8%	-	-
Lotes	49.1%	49.5%	33.8%	0.5%	2.7%	-	3.1%	-	
Novos loteamentos (Z 5A)									
Áreas Públicas	•	-	4.5%	12.8%			11.5%		2.7%
Reserva Legal	-	-	6.2%	17.8%		17.5%			3.8%
Chácaras		-	20.4%	58.4%	52.1%	57.3%	52.3%	47.0%	12.5%
Zona de Pastagem									
Reserva Legal	-	10 <del>10</del>	-	-	-	-	1.0%	0.7%	14.9%
Pastagem	-	-	-	-		-	4.1%	2.9%	59.7%
Zona Agrícola									
Reserva Legal	-	-	-	-	-	-	-	2.9%	-
Agricultura	-	-	-	-	8=	-	) <del>,=</del> (	11.5%	

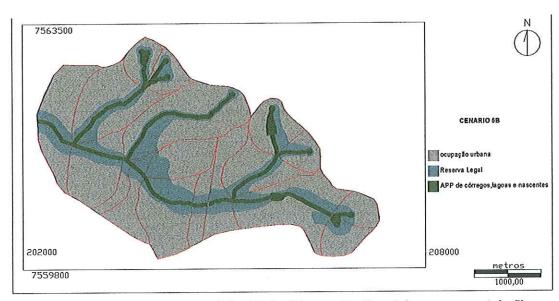


Figura 38 – Usos do solo da sub-bacia do Córrego do Gregório para o cenário 5b.

Tabela 35 – Usos do solo nas sub-bacias para o cenário 5b. A zona de ocupação condicionada é representada por Z2.

			I	rea (%	) - Su	b-bacia	8		
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
APPs	6.5%	7.4%	6.4%	19.6%	18.1%	10.3%	6.1%	3.8%	0.2%
Novos loteamentos (Z 2)									
Áreas Públicas	13.5%	13.3%	13.5%	11.6%	11.8%	12.9%	13.5%	13.9%	14.4%
Reserva Legal	18.7%	18.5%	18.7%	16.1%	16.4%	17.9%	18.8%	19.2%	20.0%
Ruas	12.3%	12.1%	12.3%	10.5%	10.8%	11.8%	12.3%	12.6%	13.1%
Lotes	49.1%	48.6%	49.1%	42.2%	43.0%	47.1%	49.3%	50.5%	52.4%
			1	rea (%	) - Su	b-bacia	S		
Zonas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
APPs	6.4%	5.9%	4.2%	9.7%	15.9%	12.7%	13.7%	14.1%	7.6%
Novos loteamentos (Z 2)				S# 15					
Áreas Públicas	13.5%	13.6%	13.8%	13.0%	12.1%	12.6%	12.4%	12.4%	13.3%
Reserva Legal	18.7%	18.8%	19.2%	18.1%	16.8%	17.5%	17.3%	17.2%	18.5%
Ruas	12.3%	12.3%	12.6%	11.8%	11.0%	11.5%	11.3%	11.3%	12.1%
Lotes	49.1%	49.4%	50.3%	47.4%	44.1%	45.8%	45.3%	45.1%	48.5%

## 5.2. Os Hidrogramas Observados

Os hidrogramas observados utilizados neste estudo foram obtidos através de quatro eventos de chuva ocorridos na região de estudo (vide capítulo anterior).

Foram analisadas três curvas nível-descarga, obtidas por diferentes maneiras. Duas seções de controle foram escolhidas: uma ponte localizada no exutório da bacia (próximo ao Fórum da cidade) e uma seção distante a aproximadamente 10 metros da ponte no sentido a montante, onde existe instalado um linígrafo. Como estimativa inicial, a curva-chave foi determinada na seção da ponte, devido à simplificações na geometria da seção, considerando o modelo de onda cinemática através da fórmula de Manning. Em posse da geometria do canal (da ponte), o parâmetro de rugosidade foi estimado através de visitas a campo e análise de fotos do local, resultando a seguinte equação:

$$Q = 11.899 \cdot h^{1.3121} \tag{5.1}$$

Para a seção do linígrafo, a relação cota x vazão foi determinada por Silva (2003), através de seis medições de vazão, utilizando o método velocidade área. Desse estudo obteve-se a seguinte equação:

$$Q = 8.753 \cdot h^{2.7204} \tag{5.2}$$

Com os mesmos dados de Silva (2003), porém utilizando-se de outro tipo de ajuste (regressão não linear), uma nova relação nível-descarga foi estabelecida, respeitando a seguinte equação:

$$Q = 8.278 \cdot h^{2.2517} \tag{5.3}$$

Os gráficos da figura 39 mostram a comparação entre as três curvas-chave analisadas, obtidas pelas equações anteriores.

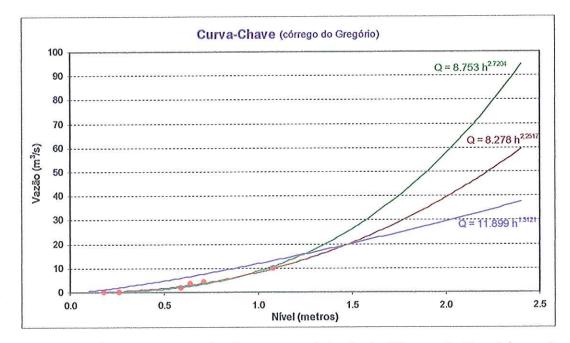


Figura 39 – Curvas-chave analisadas para a sub-bacia do Córrego do Gregório, seção do Fórum.

Ao analisar os valores dos erros quadrados (R²) das funções 5.1, 5.2 e 5.3, originadas das curvas, obteve-se 0.95, 0.97 e 0.99, respectivamente. Como a proximidade da unidade é um fator para melhor aceitação da curva, escolheu-se a curva-chave representada pela equação 5.3 para dar continuidade ao desenvolvimento da pesquisa, utilizada nos processos de calibração e validação dos parâmetros do modelo hidrológico. A vazão observada é obtida relacionando-se os níveis de água observados no linígrafo com a equação utilizada.

## 5.3. Ajuste do Modelo de Simulação

Com posse das equações que representam os processos físicos, há necessidade de calibrar o modelo ajustando os valores dos parâmetros dessas equações.

Considera-se o processo de calibração manual pelo método de tentativa e erro, sendo analisados os seguintes indicadores de qualidade da calibração, encontrados em Silva (2003):

 Correlação: admite-se que os dados observados e simulados são bem correlacionados quando o valor encontrado na equação 5.4, for igual ou maior que 0,7. Quanto mais próximo da unidade, melhor.

$$R = \frac{n \times \left(\sum Qobs \times Qsim\right) - \left(\sum Qobs \times \sum Qsim\right)}{\sqrt{\left[n \times \sum Qobs^{2} - \left(\sum Qobs\right)^{2}\right] \times \left[n \times \sum Qsim^{2} - \left(\sum Qsim\right)^{2}\right]}}$$
(5.4)

 Função ISE (Integral Square Error): procura-se minimizar a diferença entre os valores observados e calculados, equação 5.5, avaliados pelos dados da tabela 13.

$$ISE = \frac{\left[\sum (Qobs - Qsim)^2\right]^{0.5}}{\sum Qobs} \times 100$$
(5.5)

Para as duas equações anteriores, *n* significa o número de passos de tempo de simulação e as somatórias são de 1 até *n*; Qobs e Qsim, são as vazões observadas e simuladas, respectivamente.

Tabela 36 – Qualidade do ajuste na calibração através da função ISE (SILVA, 2003).

ISE (percentual)	Classificação
$0 < ISE \le 3$	Excelente
3 < ISE ≤ 6	Muito boa
6 < ISE ≤ 10	Boa
10 < ISE ≤ 25	Satisfatória
ISE > 25	Fraca

Para complementar o ajuste dos parâmetros, utilizou-se a equação 5.6 que estuda o desvio geral ( $\Delta V$ ) do volume total calculado em relação ao observado (TUCCI, 1998).

$$\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^{n} Qob(t) - \sum_{t=1}^{n} Qsim(t)}{\sum_{t=1}^{n} Qob(t)} \cdot 100$$
(5.6)

Onde Qob e Qsim são vazões observadas e simuladas pelo modelo no tempo t e n é o número de intervalo de tempo.

## 5.4. Calibração e Validação

A fase de calibração é um processo de determinação da exatidão do modelo. Nesta fase, os dados reais e os parâmetros de entrada devem gerar resultados (ex. vazão simulada) que, quando comparados com dados existentes (ex. vazão observada), devem verificar se o modelo simula adequadamente o sistema.

#### Adaptação do método às condições locais

O método SCS considera em sua formulação as perdas iniciais 20% da capacidade máxima de armazenamento de água no solo (Ia = 0,2S), porém para a região em estudo foi verificada a situação média das perdas iniciais, aproximadamente, 1,4% da capacidade máxima de armazenamento. Valor obtido através do estudo dos hidrogramas observados referentes aos eventos de chuva utilizados na calibração e validação dos parâmetros de entrada (tabela 37).

Tabela 37 – Características dos eventos utilizados na calibração e validação dos parâmetros utilizados no modelo hidrológico.

Evento Data		Tempo (min)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Efetiva (mm)	Perdas Iniciais (mm)	Condição de Umidade	
Α	6/11/2003	84	23.8	2.52	2.2	11	
В	6/2/2004	183	31.9	9.56	1.5	II	
С	9/1/2004	201	28.3	3.43	0.9	11	
D	19/12/2004	180	50.3	12.08	2.0	Ш	

As precipitações efetivas foram calculadas através de um método simples, no qual basta ligar os pontos A e B por uma reta, sendo que A e B são pontos de inflexão do hidrograma (figura 40), denominado Método 1 (TUCCI, 2002).

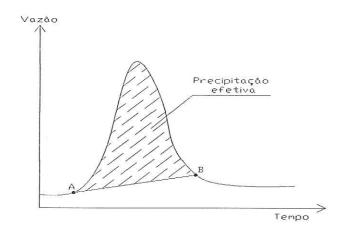


Figura 40 - Método de separação gráfica da precipitação efetiva (TUCCI, 2002).

As perdas iniciais foram obtidas através da análise gráfica dos hidrogramas referentes às perdas ocorridas antes do início do escoamento superficial, incluindo interceptação, infiltração e armazenamento em depressões. No gráfico representa a quantidade de precipitação ocorrida antes da primeira resposta do hidrograma, ponto A.

Utilizando-se da equação 4.1, com os valores medidos de Ia, obtiveram-se os valores reais da capacidade máxima de armazenamento do solo na região, para cada evento estudado (tabela 38). Porém como o modelo considera em sua estrutura interna as perdas iniciais como sendo 20% de S, foi necessário "corrigir" o modelo,

atuando nas condições de armazenamento e umidade do solo, ou seja, como o modelo considera que a água precipitada infiltra mais do que na realidade, atuou-se nas condições de saturação do solo, solo mais úmido permite menor infiltração.

Para isso, foram calculados os novos valores de S para as condições internas do modelo (Ia = 0,2S), e verificadas as porcentagens de redução da capacidade de armazenamento para averiguação da transição da condição de umidade (tabela 39).

Tabela 38 – Capacidade de armazenamento do solo para Ia = 0.2S e Ia real, nos eventos utilizados (S em mm).

Evento	S (la real)	S (la = 0,2S)	S (la = 0.2S) Redução de S		S (la real)	S (la = 0,2S)	Redução de S	
Α	164	54	-67%	С	191	60	-68%	
В	66	38	-42%	D	145	71	-51%	

Ao fazer a comparação entre as porcentagens de reduções de S nos eventos e a porcentagem de redução de S que caracteriza a transição de condição de umidade na tabela 37, verifica-se que no estudo atual, para compensar o alto índice de abstração inicial, foi necessário reduzir a capacidade máxima de armazenamento do solo juntamente com a troca da condição de umidade. Com isso, a média dos parâmetros S calibrados para as sub-bacias deverá encontrar-se próxima à apresentada na tabela 36, para Ia = 0,2S, e as condições do solo durante os eventos A, B e C mudaram de II para III.

Tabela 39 - Porcentagens das reduções dos valores de S (mm) para transição da condição de umidade II para III. Verifica-se o limite proposto de -33% para a troca de condição na média dos valores.

Condiçõe	s de	umidade
II <u>tr</u>	ansição	≥III
0 —	0%	→ 0
13 —	-77%	→3
28 —	-82%	<del>&gt;</del> 5
45 —	-85%	→8
64 —	-75%	<b>→</b> 16
85 —	-70%	<del>&gt;</del> 25
109	-65%	→38
137 —	-62%	→52
169 —	-67%	<del>&gt;</del> 68
208 —	-59%	->85
254 —	-57%	<del>&gt;</del> 109
310 —	-56%	<del>→</del> 137
381 —	-56%	→169
472 —	-56%	→208
593 —	-57%	→ 254
	Média	
II <u>3</u>	3% <sub> </sub> -3:	3% →[]]

Na calibração do modelo utilizado, ajustou-se, para a simulação das vazões no cenário 2, os parâmetros de entrada correspondentes aos eventos A e B, observados, buscando atingir uma boa correlação entre os valores.

A tabela 40 apresenta a média dos valores ajustados das condições de armazenamento do solo (S), utilizada como parâmetro de entrada no modelo IPHS-1, para cada sub-bacia, nas condições do cenário atual para a calibração utilizada nos eventos A e B.

Tabela 40 - Média dos valores das condições de armazenamento do solo (S) para

calibração dos eventos A e B.

		eventos A		Mé	dia d	e S (mm)			and a second		
		Evento	Α					Evento	В		
Sub-bacia	S	Sub-bacia	S	Sub-bacia	S	Sub-bacia	S	Sub-bacia	S	Sub-bacia	S
4	30	7	46	13	75	1	19	7	19	13	64
	52	ρ	47	14	71	2	29	8	21	14	57
- 6		0	75	15	83	3	14	9	41	15	62
3	34	40	66	16	78	4	56	10	35	16	61
4	92	10	-	17	74	5	94	11	27	17	61
5	145	11	75	17	-	0	55	12	48	18	64
6	84	12	74	18	86	0	55	16	40	10	

Abaixo, estão apresentados os gráficos e as comparações entre os resultados das vazões simuladas do cenário 2 e as vazões observadas para os eventos A e B, concluindo a fase de calibração do modelo. Além do parâmetro S, os demais dados de entrada, como por exemplo, rugosidade do canal, geometria dos trechos, declividades, etc., são os mesmos já demonstrados, anteriormente, para a condição atual de desenvolvimento.

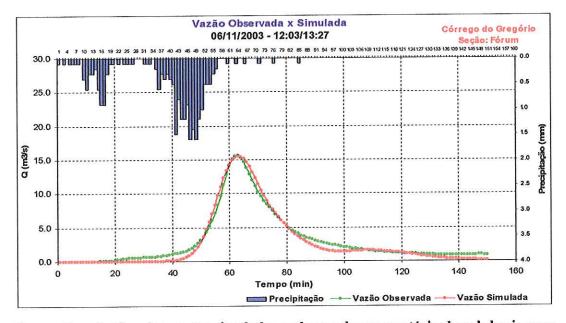


Figura 41 – Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da sub-bacia para efeito de calibração do modelo de simulação, relativo ao evento A.

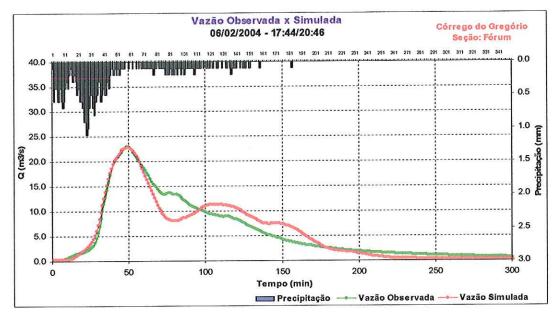


Figura 42 — Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da sub-bacia para efeito de calibração do modelo de simulação, relativo ao evento B.

Segundo a comparação entre os valores calculados e observados, observando os valores obtidos nas calibrações para os eventos A e B referentes à R, 0,99 e 0,96, à função ISE, 1,6 e 1,7, e à variação do volume (ΔV), 7,58% e -8,34%, respectivamente, os hidrogramas gerados e os parâmetros ajustados podem ser considerados de boa representatividade das condições reais do sistema.

Como próximo passo, verificou-se então, a validade dos dados para dois outros, diferentes, eventos de chuva, evento C e evento D (figuras 43 e 44). Os valores dos parâmetros S adotados foram obtidos através de suas médias, em cada sub-bacia, calculada ponderadamente para cada uso de solo estudado, entre os dois eventos calibrados. A tabela 41 mostra os valores médios de S, que serão usados na validação do modelo.

Tabela 41 – Média dos valores das condições de armazenamento do solo (S) obtidos para cada sub-bacia na calibração dos eventos A e B.

	Media	de S (mm)	
Sub-bacia	S	Sub-bacia	S
1	25	10	49
2	40	11	49
3	23	12	60
4	73	13	69
5	118	14	64
6	68	15	72
7	32	16	69
8	33	17	67
9	57	18	75

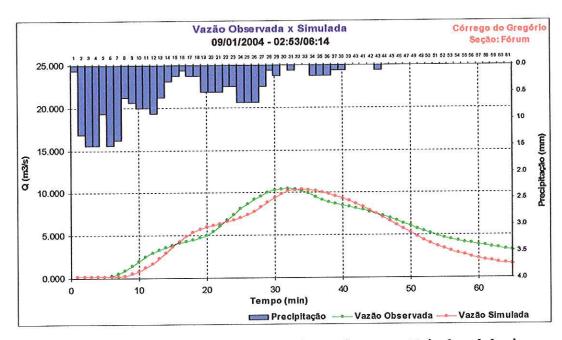


Figura 43 – Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da sub-bacia para efeito de validação do modelo de simulação, relativo ao evento C.

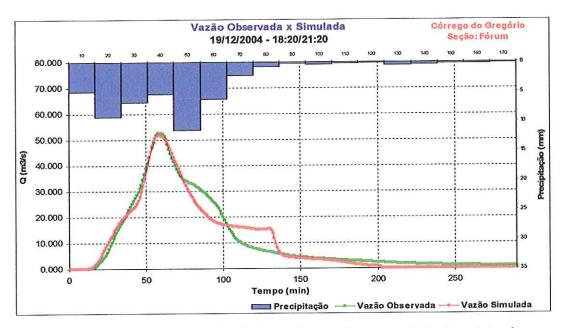


Figura 44 – Gráfico das vazões simuladas e observadas no exutório da sub-bacia para efeito de validação do modelo de simulação, relativo ao evento D.

Na validação dos parâmetros, verifica-se um atraso no tempo de pico no hidrograma para o evento C, além de pequenas variações entre os volumes observados e simulados. Entretanto a vazão de pico está bem representada. Analisando-se o coeficiente de correlação R, a função ISE e a porcentagem da

variação do volume ( $\Delta V$ ), utilizadas para verificar o grau de satisfação na verificação do modelo, pode-se admitir que os parâmetros sejam aceitáveis (R = 0,97 e 1,00 (bom); ISE = 2,2 e 0,9 (excelente);  $\Delta V$  = 9,02% e -0.51%; para os eventos C e D, respectivamente).

Verificada a validez do modelo, a seguir, na etapa de simulação dos cenários, estão disponibilizados, detalhadamente, os valores de S, calibrados e validados, empregado para cada tipo de uso do solo utilizado nos diversos cenários.

### 5.5. Simulações dos Cenários

As simulações foram realizadas a partir de chuvas de projeto com período de retorno de 10, 25 e 50 anos, usuais em drenagem urbana, além de uma chuva real observada no dia 19 de Dezembro de 2004.

Em um primeiro momento, os cenários mantiveram a rede de canais idêntica à condição atual, com algumas canalizações existentes, com a intenção de verificar os efeitos dessas sobre o escoamento, quando comparadas à rede descanalizada. Exceção feita ao cenário 1 (natural).

A seguir, estão apresentados os valores do parâmetro S usados em cada cenário, de acordo com os critérios estabelecidos nas medidas adotadas, juntamente com o coeficiente de rugosidade de Manning para os trechos dos canais:

- Residencial / Comercial / Novos Lotes: S = 11mm;
- Industrial: S = 22mm;
- Chão batido: S = 35mm;
- Terrenos baldios: S = 58mm;
- Áreas verdes Florestas / Florestas BOAS: S = 137mm;
- Florestas RUINS: S = 92mm;
- Áreas verdes parques: S = 85mm;
- Arruamento / Calçadas: S = 5mm;
- Pastagem: S = 70mm;
- Agricultura: S = 65mm;
- Áreas públicas para os cenários 3a e 3b:  $S = 0.85 \times 5 + 0.15 \times 85 = 17$ mm;

- Áreas públicas para os cenários 4a, 4b, 5a e 5b:  $S = 2/3 \times 5 + 1/3 \times 85 = 31$ mm;
- Chácaras para os cenários 3a, 3b, 4a, 4b, 5a e 5b:  $S = 0.3 \times 5 + 0.3 \times 85 + 0.4 \times 137 = 82$ mm;
- Reserva legal florestas BOAS: S = 137mm;
- Ruas arborizadas:  $S = 0.36 \times 85 + 0.64 \times 5 = 34 \text{mm}$ .

Os valores do coeficiente de rugosidade de Manning foram adotados seguindo a discretização realizada dos cenários. Para o primeiro cenário, onde ocorre o retorno às condições naturais da região, com a manutenção das áreas de várzea, adotou-se o valor  $\eta=0,11$ , de acordo com a tabela 23. Para os demais cenários, onde foi determinada a presença de parques ao longo dos rios, o coeficiente  $\eta$  é igual a 0,03, e para os locais onde foi possível a determinação de área de preservação permanente com vegetação próxima às condições naturais da bacia,  $\eta=0,11$ .

Em posse dos valores utilizados do coeficiente de armazenamento para cada tipo de uso do solo estudado, fizeram-se suas médias ponderadas relacionando-os com as respectivas áreas para cada sub-bacia dos cenários (tabela 42).

Tabela 42 — Média dos valores das condições de armazenamento do solo S (mm) obtidos para cada sub-bacia e utilizados nas simulações dos cenários.

	CENÁRIOS							
Sub-bacias	1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b
1	137	25	20	20	25	25	46	47
2	137	40	20	20	26	26	48	48
3	137	23	14	14	19	19	47	47
4	137	73	36	36	45	45	60	60
5	137	118	40	40	63	63	59	58
6	137	68	30	27	48	45	53	51
7	137	32	15	15	21	21	46	47
8	137	33	18	18	20	20	45	45
9	137	57	10	10	32	32	41	41
10	137	49	17	17	27	27	47	47
11	137	49	26	26	31	31	46	47
12	137	60	36	17	58	45	59	45
13	137	69	75	23	87	51	90	50
14	137	64	77	30	88	55	91	56
15	137	72	78	26	90	54	92	53
16	137	69	69	21	82	50	88	54
17	137	67	75	23	84	51	90	55
18	137	75	76	18	78	48	88	48

A seguir, estão apresentados os hidrogramas resultantes das simulações dos cenários para a seção de controle 1, mantendo canalizações existentes na rede de canais. A fim de avaliar os efeitos das aplicações dos conjuntos de medidas sobre a capacidade de suporte local, em termos quantitativos, apresenta-se, também, a vazão limite suportada, considerando a condição atual do canal, para a respectiva seção (tabela 24).

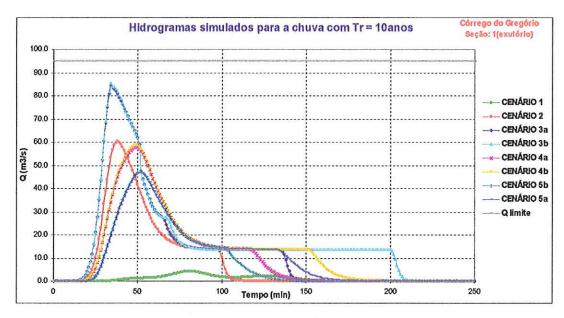


Figura 45 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma chuva de projeto com Tr = 10 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

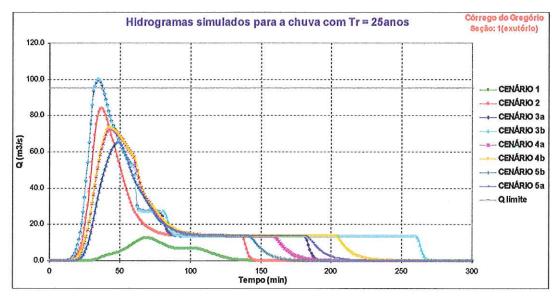


Figura 46 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma chuva de projeto com Tr = 25 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

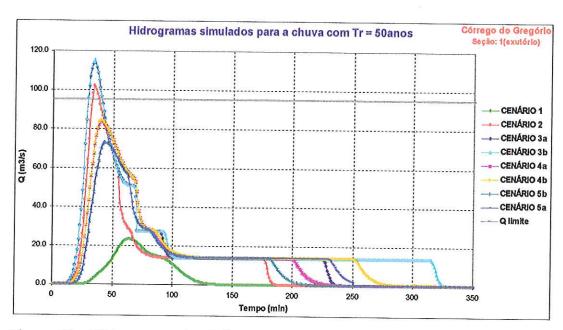


Figura 47 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para uma chuva de projeto com Tr = 50 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

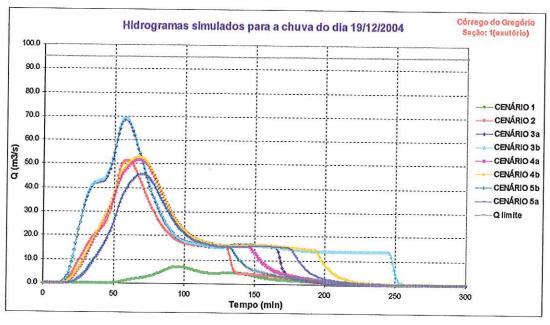


Figura 48 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, para a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004 (Área de drenagem a montante: 10km²).

Para estudar os efeitos das canalizações sobre os corpos d'água realizou-se, também, a simulação dos mesmos cenários, porém descanalizados. Os hidrogramas apresentados nas figuras abaixo retratam essa nova situação.

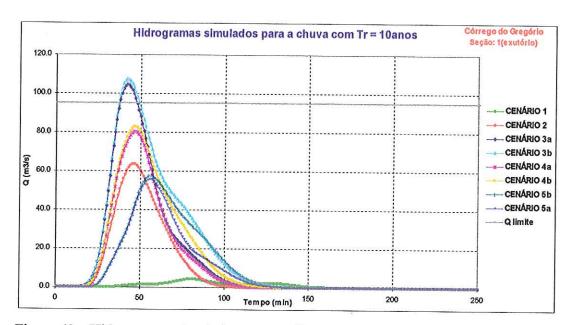


Figura 49 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr=10 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

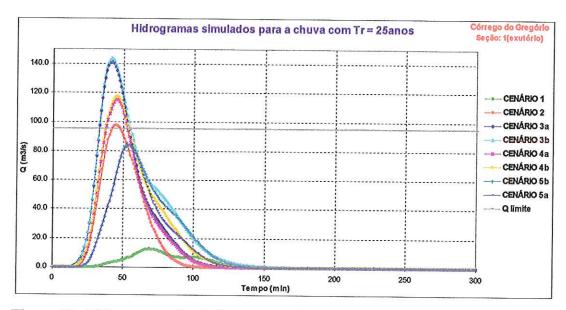


Figura 50 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr = 25 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

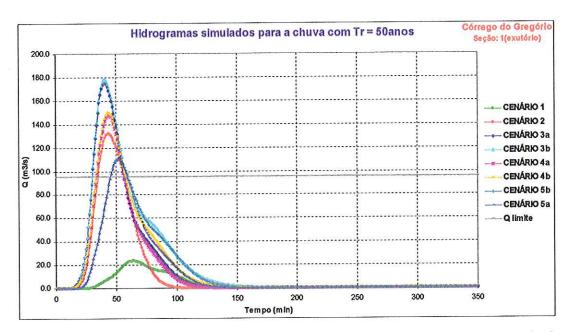


Figura 51 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a rede de canais descanalizada, para uma chuva com Tr = 50 anos (Área de drenagem a montante:  $10 \text{km}^2$ ).

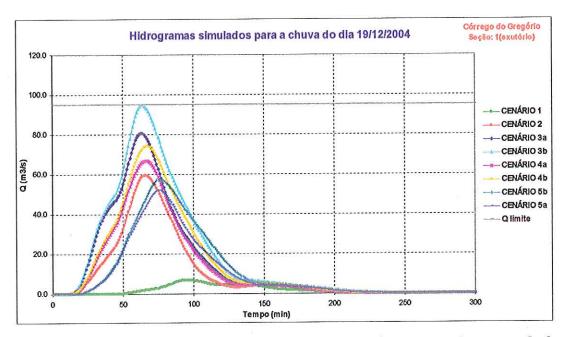


Figura 52 – Hidrogramas simulados para os diversos cenários na seção 1, com a rede de canais descanalizada, para a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004 (Área de drenagem a montante: 10km²).

Os resultados das simulações observadas nos hidrogramas revelam a ineficiência das medidas propostas, considerando as diretrizes do Projeto de Lei do

Plano Diretor Urbano Municipal, para todas as chuvas de projeto, extrapolando o limite referido para a seção estudada e sem existência de uma "área de escape" para as águas.

Nos cenários 4a e 4b, são observadas reduções consideráveis nas vazões máximas, quando comparadas com os cenários 3a e 3b. Porém para eventos de chuvosos com período de retorno elevado (25 e 50 anos), também foram encontrados problemas de superação da capacidade máxima de escoamento da seção.

Nestes cenários são consideradas as condições urbanas atuais da bacia e as medidas adotadas não interferem no ambiente "já construído". A capacidade de escoamento é prejudicada, especialmente nesta seção de estudo, devido à locação dos sistemas viário e urbano existente que impossibilita a alternativa de instituir uma área de preservação permanente, estabelecida em legislação, que possibilitaria, além do amortecimento das vazões, uma área de alagamento segura para a população.

A seguir foi realizada a comparação dos hidrogramas do cenário 4a (original), onde nas áreas urbanizadas foram respeitadas as malhas viária e urbana, e aplicada ao longo desses trechos de canais, áreas de parques (figura 35) com dimensões reduzidas, com o mesmo cenário (alterado), porém, interferindo em algumas propriedades e avenidas marginais, retirando-as para inserção de um corredor considerado como área de preservação, ou seja, uma renaturalização das margens.

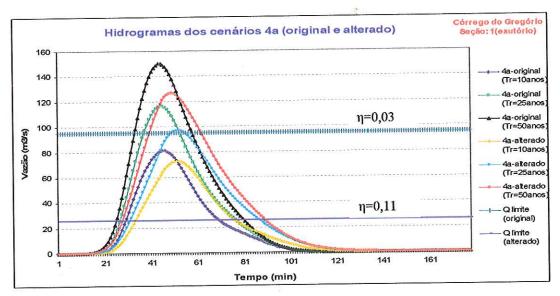


Figura 53 – Hidrogramas simulados para a comparação dos cenários 4a, original e alterado, na seção 1, para chuvas com períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos (Área de drenagem a montante: 10km²).

Cabe ressaltar que ao introduzir a APP e atuar nas condições do canal, com objetivo de retorná-lo às características dos trechos próximos às nascentes (o mais natural possível), interfere-se na rugosidade da calha do rio, aumentando-a e reduzindo a capacidade de escoamento na seção. A figura 53 mostra o limite suportado pela seção estudada para as duas condições de rugosidade, para áreas de parques ( $\eta$ =0,03), apresentado anteriormente, e para áreas de florestas ( $\eta$ =0,11). Os cálculos para a nova rugosidade na seção 1 foram realizados pelo software FlowMaster, utilizando-se das equações 4.9 e 4.10 e encontram-se apresentados no anexo B.

Observam-se nos hidrogramas da figura 53 reduções nas vazões, porém extrapolam o novo limite imposto pelo novo valor de rugosidade, no entanto, a inundação ocorre dentro do limite pertinente à APP, sem causar maiores danos para a população local. A figura 54 ilustra as faixas de inundações dentro do limite da APP, quando ocorridas vazões máximas para o cenário 4a alterado, para as chuvas com período de retorno de 10, 25 e 50 anos.

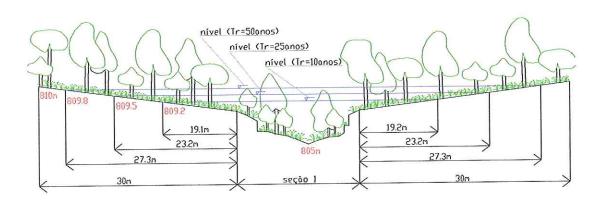


Figura 54 – Cotas de inundações na seção 1 para o cenário 4a alterado pela introdução de APP e mudança de rugosidade ( $\eta$ =0,11) ao longo do canal, para chuvas com períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

Os cálculos para obtenções dos valores dos níveis atingidos pelas águas também foram realizados pelo software FlowMaster e são apresentados no anexo C.

A seguir, na tabela 43, para essa nova situação de rugosidade, estão relacionadas às vazões de suporte e máximas para as precipitações de projeto adotadas anteriormente, com suas respectivas áreas e perímetros molhados

demandados, que ao extrapolarem o limite da seção, invadem o interior da faixa de proteção (APP), também encontrados de modo mais detalhado no anexo C.

Tabela 43 – Vazões de suporte e máximas para as precipitações de projeto (10, 25 e 50 anos) relacionadas com suas respectivas áreas e perímetros exigidos, para a seção 1.

	Limites da seção	Precipitações de projeto		
	atual	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos	Tr = 50 anos
Vazão máxima (m³/s)	26	74	98	127
Área molhada (m²)	20.1	63.4	80.8	97.5
Perímetro molhado (m)	14.9	52.8	61.5	68.8

As relações, vazão - área molhada - perímetro molhado, estabelecidas na tabela 43 são particulares para a seção estudada e não podem ser generalizadas para as demais, ou seja, esse tipo de estudo deve ser realizado para cada uma, individualmente, pois depende das características naturais do relevo que interferem na medição das áreas e perímetros molhados, componentes de entrada para a equação de cálculo.

Como os cenários 5a e 5b ilustram a situação "hidrologicamente ideal" que o desenvolvimento urbano deveria seguir, com a aplicação de APPs e reservas legais para todas as sub-bacias e consideração das características naturais originais dos cursos d'água, como verificadas nos trechos próximos às nascentes, os cálculos das vazões limites para as seções devem considerar a rugosidade dos trechos  $\eta$ =0,11, como verificado na figura 53, onde para a seção 1, a vazão limite é 23 m³/s.

Com isso, a situação dos cenários 5a e 5b é a mesma do cenário 4a alterado, discutida anteriormente, onde as vazões máximas atingidas, em todas as chuvas estudadas, extrapolam o limite com rugosidade η=0,11, no entanto, as regiões alagadas situam-se dentro dos limites estabelecidos para as APPs.

No anexo E encontram-se os hidrogramas resultantes das simulações dos cenários propostos para as demais seções de controle.

Complementando o estudo, com objetivo de analisar os efeitos de cada medida individual sobre o escoamento nos canais, aplicou-se separadamente cada proposta em uma sub-bacia isolada (SB-6), escolhida aleatoriamente. As propostas estão descritas a seguir:

- Desenvolvimento urbano total na sub-bacia e redução da rugosidade do canal para a situação mais comum encontrada, atualmente, em trechos urbanizados (η=0,03);
- Arborização em todas as ruas;
- Preservação das áreas de preservação permanente e aumento da rugosidade do canal (η=0,11);
- Manutenção de uma reserva legal (20% da área total além das APPs);
- Reserva de áreas públicas (18%), onde 1/3 destina-se a áreas de parques;
- Aplicação de todas as medidas associadas.

A figura 55 ilustra a aplicação de todas as medidas propostas para a sub-bacia 6 de modo associado, onde se verifica a sugestão da locação das áreas destinadas à reserva legal unida às áreas de preservação permanente, ampliando o corredor verde benéfico à fauna, flora e principalmente ao corpo d'água. Outra possibilidade interessante é a proposta de implantação das áreas públicas também próximas ao corredor, possibilitando uma maior harmonia entre homem-natureza.

Na tabela 44 encontram-se as porcentagens relativas a cada uso do solo atribuído pelas medidas, juntamente com seus coeficientes de armazenamento no solo.

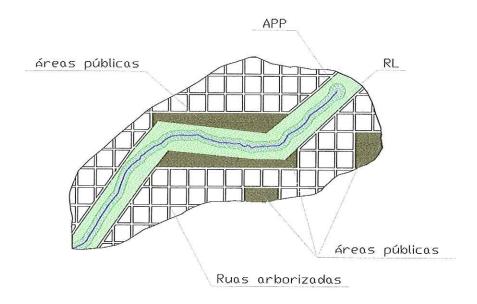


Figura 55 - Medidas de controle propostas aplicadas em conjunto na sub-bacia 6.

Tabela 44 – Áreas relativas aos usos do solo referentes às medidas propostas para a sub-bacia 6 e seus respectivos valores de armazenamento do solo (S).

SUB-BAC	CIA 6	
Proposta:	Desenvolvimento total	
ZONAS	Área (%)	S(mm)
Residencial/Comercial	80%	11
Ruas	20%	5
Proposta:	Arborização	
Residencial/Comercial	80%	11
Ruas	20%	35
Proposta:	Preservação	de APPs
Residencial/Comercial	72%	11
Ruas	18%	5
Florestas	10%	137
Proposta:	Reserva legal	
Residencial/Comercial	64%	11
Ruas	16%	5
Florestas	20%	137
Proposta:	Áreas púl	olicas
Residencial/Comercial	66%	11
Ruas	28%	5
Parques	6%	85
Proposta:	Medidas associadas	
Residencial/Comercial	47%	11
Ruas	20%	35
Parques	4%	85
Florestas (APPs)	10%	137
Florestas (RL)	18%	137

Para o estudo da sub-bacia isolada foram utilizados os mesmos eventos de precipitações anteriores (10, 25 e 50 anos, juntamente com a chuva problemática para a cidade, do dia 19 de Dezembro de 2004). Os hidrogramas resultantes estão apresentados nas figuras 56 a 59.

Nota-se um amortecimento na vazão de pico para as medidas que promovem a preservação das APPs ao longo dos canais, tornando-se constante no decorrer do tempo. Isso ocorre devido ao aumento da rugosidade dos mesmos e, consequentemente, diminuição da velocidade do escoamento.

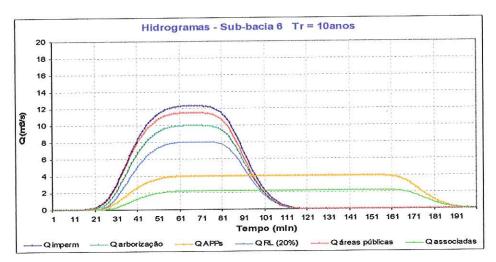


Figura 56 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6 (área =  $1,31~\rm km^2$ ), para uma chuva com Tr =  $10~\rm anos$ .

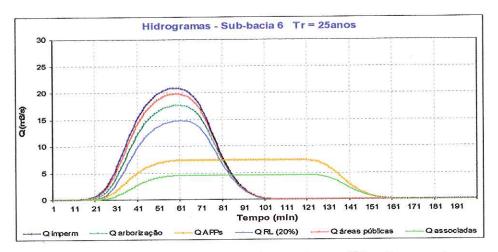


Figura 57 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6 (área = 1,31 km²), para uma chuva com Tr = 25 anos.

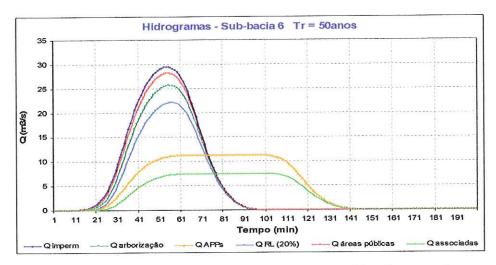


Figura 58 – Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6 (área = 1,31 km²), para uma chuva com Tr = 50 anos.

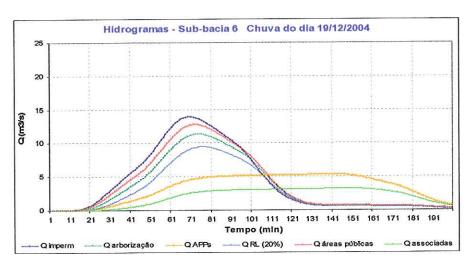


Figura 59 — Hidrogramas resultantes da aplicação das medidas de controle separadas ou em conjunto na sub-bacia 6 (área = 1,31 km²), para a chuva do dia 19 de Dezembro de 2004.

As vazões limites toleradas pela seção 5, exutório da sub-bacia 6, são respectivamente,  $116 \text{ m}^3/\text{s}$ , para  $\eta = 0.03 \text{ e } 32 \text{ m}^3/\text{s}$ , para  $\eta = 0.11$  (anexo D). Portanto, em todas as situações esses limites não foram superados e, conseqüentemente, o extravasamento da calha natural do canal. Porém, observa-se uma grande redução e amortecimento das vazões máximas ocorridas, o que pode acarretar em uma colaboração para evitar maiores vazões e, talvez, problemas, nas áreas de jusante.

Também foram simulados, na sub-bacia 6, os efeitos da existência das áreas verdes, consideradas tanto como florestas, quanto parques, comparando as vazões de pico, com o aumento, gradativo, dessas áreas e, consequentemente, a diminuição das áreas impermeáveis na sub-bacia, sem considerar qualquer alteração no curso d'água (figura 60). Para realizar as simulações utilizou-se a precipitação de projeto com período de retorno de 25 anos, usual em projetos de macro-drenagem urbana.

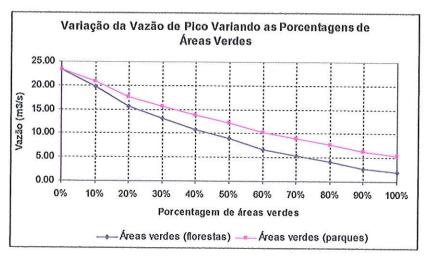


Figura 60 – Gráfico da variação das vazões de pico, variando a quantidade de áreas verdes (florestas e parques) na sub-bacia 6, para uma chuva com Tr = 25 anos.

Observa-se, através do gráfico, que as vazões de pico sofrem uma diminuição apreciável, quando aumentada a quantidade de áreas verdes na sub-bacia, tanto para áreas consideradas como parques (S = 85mm), como para florestas (S = 137mm). A porcentagem de vazão diminuída ao aumentar as áreas verdes na sub-bacia, quando comparadas com a vazão de pico original, são apresentadas na figura 61.

O que se observa são as variações de porcentagens razoáveis alcançadas com a manutenção e preservação das áreas verdes na sub-bacia. Por exemplo, para os cenários 4a e 4b, "mais realistas" do ponto de vista de aplicação prática, destinandose de 13% a 18% da área total da sub-bacia para áreas verdes (parques), obtém-se cerca de 15% e 22%, respectivamente, de redução da vazão de pico, e reservando-se de 15% a 20% da área total da sub-bacia para áreas verdes (florestas), consegue-se reduções de pico de, aproximadamente, 24% e 33%, respectivamente.

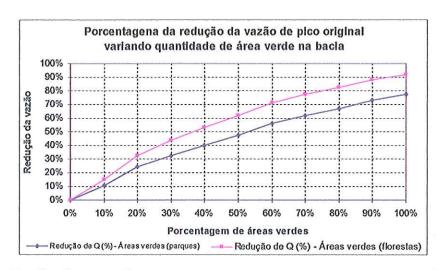


Figura 61 — Gráfico da variação das porcentagens de redução da vazão de pico original, variando a área reservada para existência de áreas verdes na sub-bacia 6, para uma chuva com Tr = 25 anos.

#### 5.6. Discussão dos Resultados das Simulações

Em um primeiro momento procurou-se avaliar os efeitos das canalizações sobre os resultados das simulações. Ao analisar os hidrogramas, ficam evidenciados os efeitos positivos para a redução dos picos de vazões, quando considerados alguns trechos canalizados da rede de drenagem. Porém, ao estudar o sistema todo, verificase que o beneficio ocorrido na seção 1, no exutório da sub-bacia toda, contrasta com o problema causado a jusante do trecho canalizado, principalmente com relação ao processo de remanso causado e o efeito de represamento do escoamento, pelo fato de que a vazão suportada pela canalização é inferior à vazão ocorrida no rio.

Para exemplificar o fato descrito, foi realizada entrevista com um morador local, o qual afirmou que, quando ocorre uma chuva de grande intensidade, o nível da água do canal, referente à jusante do trecho 3 (figura 29), ultrapassa a calha natural do rio inundando a estrada de terra ali presente. Isso pode ser comprovado no trabalho realizado por Oliveira (1998), que mapeou algumas áreas de inundações dessa mesma sub-bacia do Córrego do Gregório. Observa-se nesse trabalho que o trecho problemático apresentado, e comentado pelo morador, faz, realmente, parte dessas áreas alagáveis.

A canalização exemplificada acima se encontra ilustrada na figura 62. Observa-se também o descaso do poder público com a manutenção dos canais, verificado pelo abandono da vegetação que está invadindo os dutos causando a diminuição, ainda mais, da capacidade de escoamento.



Figura 62 — Foto da canalização existente à jusante do trecho 3 (Córrego do Lazarine), causando represamento das águas quando ocorridas chuvas intensas, em 14 de Setembro de 2004 (Foto do autor).

Como aspecto positivo dos efeitos ocasionados pela implantação das canalizações fica a idéia da construção de reservatórios de detenção associados às medidas não-estruturais, quando essas, por si só, não solucionam o problema, principalmente em casos onde a urbanização já está consolidada.

Verificados os efeitos do controle do escoamento quando considerados trechos canalizados na rede de drenagem, analisou-se, então, os mesmos cenários, porém sem canalização, ou melhor, quando da ocorrência de algum trecho, por exemplo, devido à existência de pontes, respeitaram-se as dimensões dos canais assim como as áreas verdes ao longo deles. Isto implica a não interferência no escoamento dos corpos d'água.

Os resultados observados nos hidrogramas simulados revelam que, para uma chuva de projeto com período de retorno de 10 anos, apenas os cenários que refletem as diretrizes, somente do Projeto de Lei do Plano Diretor Urbano Municipal de São Carlos, extrapolam a vazão limite suportada na seção I, para sua condição atual.

Para um evento chuvoso, de projeto, com um período de recorrência de 25 anos, observa-se que somente os cenários 5a e 5b têm a ocorrência de suas maiores vazões enquadradas dentro do limite calculado anteriormente. Como esses dois cenários são considerados "cenários ideais", como o desenvolvimento urbano deveria ocorrer, seguindo todas as medidas propostas, limitam-se como efeito de comparação para os demais, pois suas implantações são consideradas inexecutáveis devido à urbanização já estabelecida. Os cenários considerados aplicáveis à região em estudo são o 4a, com respeito à zona de ocupação restrita estabelecida no Projeto de Lei, e 4b, expansão urbana total sem respeitar a zona de ocupação restrita, que adaptam os novos loteamentos às medidas propostas. Porém são verificados em seus hidrogramas que, com o atual nível de urbanização, para essa chuva, as vazões máximas também ultrapassam o limite calculado, apesar de reduzir bastante as vazões de pico dos cenários 3a e 3b.

Já para uma precipitação de projeto muito intensa, com período de retorno de 50 anos, constante em toda a sub-bacia, todas as alternativas de controle propostas extrapolam esse limite. Para esse caso, a aplicação de medidas estruturais, como a construção de reservatórios seria exigida imediatamente. Neste caso, verifica-se a contribuição das medidas de combate às cheias propostas nos cenários, no que se refere ao tamanho e, consequentemente, ao custo da construção, pois o volume armazenado diminui consideravelmente quando, por exemplo, ocorre a implantação associada de reservatórios com medidas não-estruturais de controle (cenário 4a).

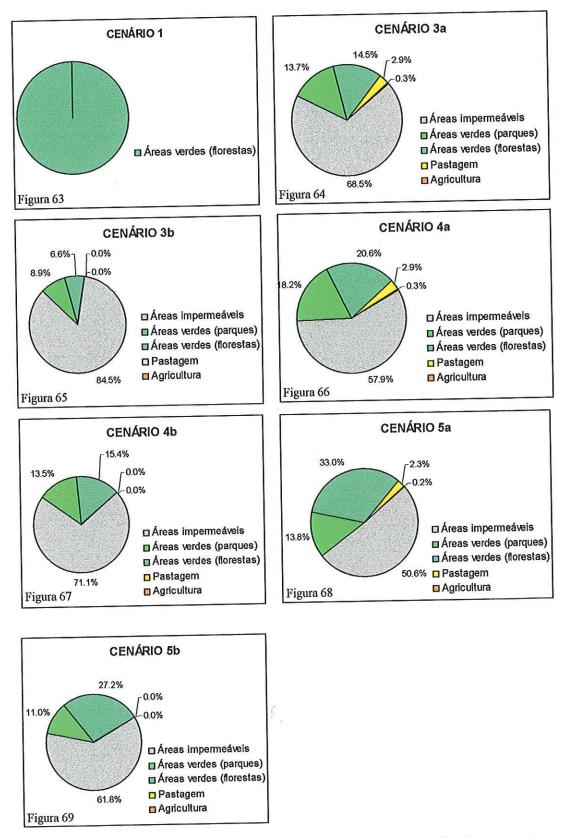
No estudo dos hidrogramas referentes aos cenários simulados para a chuva que inundou a região do Mercado Municipal de São Carlos, no dia 19 de Dezembro de 2004, observa-se que a vazão de pico ocorrida na seção I, para as condições atuais (cenário 2), neste local, não ocasiona problema, porém quando aumentada (cenários 3a, 3b, 4b) certamente refletirá em maiores problemas a jusante, principalmente para a região do Mercado Municipal, caso o sistema drenante continue sem melhorias nesta área. Com isso, conclui-se que com a evolução urbana da sub-bacia estudada, a vazão contribuinte para as inundações no Mercado Municipal será aumentada a níveis consideráveis e apenas o cenário 4a, de aplicação praticável, manterá a vazão atual, que já é problemática. O que se espera é a interferência do Poder Público na área a jusante da sub-bacia para atenuar as vazões críticas, de inundação, na região.

Observa-se ainda que com a aplicação das medidas do projeto de Lei, como no cenário 3b, a vazão de pico chega a estar, aproximadamente, 67% maior do que no cenário 2 (atual), extrapolando, a vazão suportada pelo canal na seção.

Vale lembrar de que, para estudos sobre os cenários que interferem na rugosidade dos canais (cenários 5a e 5b), a vazão limite também deve considerar esse novo parâmetro, tornando-se inferior, devido ao aumento da resistência ao escoamento. Consequentemente, para esses cenários, as vazões máximas relativas às chuvas estudadas extrapolaram a nova capacidade do canal na seção 1, porém a nova área delimitada como APP, desabitada, foi considerada suficiente para atuar como área ribeirinha inundável, impedindo a ocorrência de danos para a população.

Contudo, pôde-se observar nos cenários apresentados, a valorização das áreas verdes, quando considerado o uso e ocupação dos solos, como principal critério para proposição das medidas de controle não-estruturais, implicando em resultados favoráveis, quando verificadas as atenuações nas vazões máximas para as chuvas de projeto.

A seguir, estão apresentadas figuras que ilustram a quantidade de área verde resultante em cada cenário proposto, juntamente com a tabela 45 que apresenta a variação da vazão de pico nos cenários, quando comparados com a vazão máxima atual (cenário 2), para as chuvas de projeto utilizadas no estudo. Os usos do solo do cenário 2 apresentam-se discretizados, anteriormente, na figura 32.



Figuras 63 a 69 – Usos do solo para os cenários propostos, classificados como áreas permeáveis, áreas verdes, pastagem e agricultura.

Tabela 45 - Variação das vazões de pico dos cenários simulados (rede descanalizada) comparados à vazão máxima atual.

Chuva:	Tr = 10 anos		Chuva:	Tr = 25 anos		
Conárica Conárica		(%) da Q pico atual		Q pico (m3/s)	(%) da Q pico atual	
1	4,23	-93,3%	1	12,53	-87,2%	
2	63,41	******	2	97,66	0.0007	
3a	104,35	64,6%	3a	141,28	44,7%	
3b	107,32	69,2%	3b	143,6	47,0%	
4a	80,38	26,8%	4a	115,13	17,9%	
4b	82,6	30,3%	4b	117,16	20,0%	
5a	55,3	-12,8%	5a	83,33	-14,7%	
5b	57,56	-9,2%	5b	83,8	-14,2%	
Chuva:	Tr = 50 anos		Chuva:	Tr = 19/12/2004		
Cenários		(%) da Q pico atual	Cenários	Q pico (m3/s)	(%) da Q pico atual	
1	23,32	-82,1%	1	6,88	-88,4%	
2	130,25	одинав	2	59,42		
3a	174,16	33,7%	3a	80,53	35,5%	
	178,11	36,7%	3b	95	59,9%	
3b	147,44	13,2%	4a	66,56	12,0%	
4a	149,55	14,8%	4b	73,89	24,4%	
4b	109,06	-16,3%	5a	51,73	-12,9%	
5a 5b	110,09	-15,5%	5b	57,5	-3,2%	

Na sub-bacia 6, estudada individualmente, verificou-se a importância das medidas sugeridas, aplicadas separadamente. Por ser uma bacia que o rio atravessa quase que por completa, ela facilita notar a importância, principalmente da manutenção das áreas de preservação permanente, que além de diminuir a quantidade de escoamento para o canal devido ao aumento da permeabilidade da superfície, também atua na velocidade do escoamento, pois interfere na rugosidade do canal, aumentando-a.

Verificaram-se também os efeitos das outras medidas que reduziram as vazões de pico, atuando, sobretudo, nos processos de infiltração, interceptação e armazenamento superficial das águas.

Na figura 55 foi sugerido um modo de locação da reserva legal e áreas públicas, onde é interessante que as áreas destinadas às reservas legais estejam posicionadas próximas às áreas de preservação permanente, ampliando o corredor verde ao longo do rio e as áreas públicas locadas tanto ao longo da malha urbana, atuando na amenização das alterações do micro-clima local, quanto perto das areas de reservas legais e APPs, aproveitando-se da harmonia ecológica existente.

Retornando à importância da preservação e manutenção das áreas verdes nos novos loteamentos, a figura 60 ilustra, em termos quantitativos, os efeitos do aumento das áreas verdes para a sub-bacia 6 sobre as vazões de pico no local. Verificaram-se reduções consideráveis, chegando a atingir, aproximadamente, 92% para as áreas florestais, e 77% para as áreas de parques.

Além da importância quantitativa, na redução das vazões do escoamento, é importante observar o efeito de locação dessas áreas, que ao seguir a sugestão comentada anteriormente, pode ser a solução para precipitações mais intensas, como as verificadas nas simulações das chuvas com períodos de retorno maiores, onde a água extravasará a calha natural dos corpos d'água atingindo apenas as áreas verdes preservadas, sem causar maiores danos para a população.

Por fim, foi constatado, em visita a campo, o surgimento de um novo condomínio, distante, segundo trabalhador da obra, 30 metros da margem esquerda (de montante para jusante) do Córrego do Gregório (figura 70). Apesar de respeitar o limite imposto pelo Código Florestal, o local da construção do condomínio poderia ser destinado à preservação e manutenção de áreas verdes, consideradas como áreas de interesse ambiental, segundo o Projeto de Lei do Plano Diretor Urbano Municipal, ampliando o corredor verde ao longo do canal. Evidencia-se, então, nesta constatação, o descaso com o interesse ambiental contrastado pelo interesse econômico da classe dominante.



Figura 70 – Foto de uma construção de condomínio habitacional localizada próxima à margem esquerda do Córrego do Gregório, em 21 de Dezembro de 2004. Coordenadas: 204020 W e 7560880 S (Foto do autor).

# CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1. Conclusões

#### 6.1.1. Da Aplicação da Metodologia

A metodologia foi usada para simular os escoamentos ocorridos no sistema de macro-drenagem na sub-bacia do Córrego do Gregório, em São Carlos, SP, e propõe a aplicação de medidas não-estruturais de combate às cheias, baseadas no ordenamento do uso do solo urbano, que podem ser utilizadas como referências para estratégias de gerenciamento da drenagem.

O trabalho permitiu analisar as implicações, em termos quantitativos, da prática de medidas não-estruturais de controle das inundações urbanas em busca de um gerenciamento sustentável da drenagem urbana. Subsequentemente, o estudo avaliou essas implicações através do desenvolvimento de simulações computacionais para quantificar os efeitos das alternativas de estratégias.

Embora realizadas a calibração e validação dos parâmetros de entrada do modelo, com os resultados obtidos considerados satisfatórios, as aproximações realizadas pelo modelo computacional apresentam limitações, existentes em sua estrutura de modelagem interna, próprias de um modelo concentrado. Como o estudo refere-se à macro-drenagem, não se consideraram os efeitos de micro-drenagem, como o escoamento em sarjetas e galerias pluviais, aproximação da calha natural para uma seção retangular, além de incertezas em estimativas de parâmetros utilizados e na curva-chave do canal. Portanto, o retrato da complexidade do ambiente natural merece pesquisas futuras.

O modelo de simulação estudado utiliza técnicas de modelagem que não permitem uma abordagem completa do sistema real, apesar disso, é considerado ferramenta valiosa para julgamentos baseados em macro-drenagem urbana e pode ser empregado em processos de tomadas de decisões futuras.

### 6.1.2. Aplicação dos Resultados nos Processos de Gerenciamento da Drenagem

As conclusões limitam-se ao contexto da sub-bacia estudada, porém podem migrar para outro ambiente, notadamente, em locais onde as características físicas, a densidade populacional e a situação sócio-econômica sejam similares.

Os resultados obtidos através das simulações evidenciaram a importância para o combate das enchentes, da existência de áreas verdes em um sistema de drenagem, atuando tanto na redução das vazões máximas, como na colaboração de suas localizações, tornando-se áreas verdes inundáveis, aprisionando as inundações e impedindo a fixação da população.

O planejamento urbano deve abordar de modo integrado as áreas de fundo de vale e, quando necessário, considerar uma política apropriada de desapropriação, com objetivo de preservar os corpos d'água e suas áreas de várzea. É nesse sentido que os cenários propostos buscam re-inserir as áreas verdes estudadas ao longo da calha natural dos canais, formando um corredor verde que atua, além do combate às enchentes, no beneficiamento da preservação do ecossistema local.

Em suma, a urbanização descontrolada da bacia hidrográfica estudada e as consequentes invasões das áreas de fundo de vale são fatores atormentadores quando o assunto refere-se às inundações. Entretanto, a minimização dos efeitos negativos dessa ocupação pode ser garantida com um planejamento sustentável da drenagem, que contemple a manutenção dos canais, assegurando condições mais próximas às naturais. Portanto, a regulamentação do uso e ocupação do solo deve especificar as condições naturais a serem mantidas ou, conforme a ocorrência, serem ambientalmente recuperadas.

Ao analisar a problemática das enchentes para precipitações muito intensas na área de estudo, torna-se evidente a necessidade da implementação de medidas não-

estruturais e estruturais de maneira integrada, uma complementando a outra, para a solução do desafio das cheias urbanas.

#### 6.1.3. Conclusões

A metodologia aplicada foi desenvolvida para complementar as alternativas de instrumentos estratégicos para o gerenciamento da drenagem urbana. Conseqüentemente, o modelo foi usado para simular os impactos causados pelo processo de urbanização sobre as vazões de escoamento no sistema drenante da subbacia do Córrego do Gregório.

A pesquisa avaliou cenários de ocupação do solo pelo desenvolvimento urbano, implementados com medidas não-estruturais de controle de inundações, incluindo a conservação das características naturais dos corpos d'água, respeito e manutenção das áreas de preservação permanente ao longo dos rios e em torno das nascentes, inserção de área considerada como reserva legal nos novos loteamentos, arborização de vias e aumento da porcentagem de áreas verdes permeáveis inseridas nas áreas públicas. Os resultados indicaram que cada medida contribui, positivamente, na redução das vazões máximas provenientes das precipitações, além de promover, quando bem localizadas, o afastamento da população das áreas de risco e colaborar com a harmonização ambiental local.

O estudo procurou analisar as consequências da intervenção antrópica sobre o meio natural e a repercussão sobre os escoamentos. Para isso foram simulados cenários, desde a proposta totalmente natural; seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Projeto de Lei do Plano Diretor Urbano Municipal de São Carlos; considerando como a evolução urbana deveria ocorrer seguindo as medidas propostas; e cenários urbanos partindo da situação atual de desenvolvimento e o que se pode fazer para atenuar o problema.

O objetivo de redução das vazões de pico, utilizando as medidas propostas, foi alcançado e suas eficiências comprovadas, ainda mais, ao comparar os efeitos de tais medidas com as utilizadas na proposta de expansão urbana de acordo com o

Projeto de Lei, onde se verificaram vazões superiores, além das obtidas com as medidas complementares sugeridas.

Os resultados mostraram que estratégias de combate às enchentes que valorizam as áreas verdes, promoveram resultados satisfatórios que enriquecem o modelo de gerenciamento sustentável da drenagem urbana.

O que se observa, na realidade, é que grande parte dos problemas é ocasionada pela atual abordagem dos sistemas de drenagem, que não consideram a dinâmica natural e sócio-econômica do espaço, com ausência de um planejamento qualitativo do uso e ocupação do espaço que implicaria em menores riscos de danos para a população.

## 6.2. Recomendações para Novas Pesquisas

Analisados os resultados do estudo, identificaram-se algumas áreas de atuação para futuras pesquisas, as quais poderão contribuir para comparar e verificar a exatidão dos resultados obtidos. São elas:

- Estudos utilizando mais medidas para estimativas da curvas-chave para a seção de medição de níveis, permitindo a análise das incertezas associadas às medições de campo e/ou à escolha das equações relacionadas às linhas de tendência dos pontos (nível/vazão);
- Novas pesquisas a respeito da utilização do método SCS, no que se refere à sua estrutura interna, na qual o modelo considera as perdas iniciais sendo 20% da capacidade máxima de armazenamento do solo, e que, para a região presente essa porcentagem foi verificada muito inferior. Novos estudos, na bacia do Córrego do Gregório ou em locais com as mesmas características poderiam averiguar de modo mais confiante, o valor médio dessas perdas iniciais e, conseqüentemente, estabelecer uma nova relação de Ia com S para a região. A adaptação utilizada para essa relação, no presente estudo, também poderia ser alvo de pesquisa, colaborando para a análise e avaliação do método empregado atual;

- Devido à falta de um detalhamento maior das condições reais do sistema drenante e pelo fato do modelo IPHS-1 ser do tipo concentrado, que considera características uniformes para uma grande região, um estudo com os mesmos objetivos e metodologia poderia ser bastante valioso, porém adotando um modelo hidrológico distribuído associado com sistemas de informações geográficas, com parâmetros de entrada mais detalhados, além de considerar o escoamento tanto na macro como na micro-drenagem;
- O presente estudo limita-se a pesquisar somente a aplicação de medidas não-estruturais, principalmente relacionadas ao ordenamento do uso do solo, propondo a re-inserção de áreas verdes. Nos hidrogramas simulados foi verificada a falta da capacidade de exaurir o problema da redução das vazões máximas em chuvas com períodos de retorno elevados (Tr = 25 e 50 anos), evidenciando a necessidade de aplicação de medidas estruturais, seria pertinente. Portanto, é aconselhável a realização de estudos que abordassem a integração entre medidas estruturais e não-estruturais de combate às cheias;
- Estudo relacionado com estimativas de custos de implantação as medidas propostas nos diversos cenários analisados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, S.; SILVA Jr., O. (1999). Caracterização da Problemática das Cheias na Bacia do Tabuleiro dos Martins — Maceió, AL. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1999. Belo Horizonte, MG, Anais, ABRH.

AGUIAR, R.L. (1989). Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana – São Carlos, SP. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

AGUIAR, L.S.; AGUIAR, O.A. (1998). Gestão de Recursos Hídricos. Uma Questão de Legislação ou Educação? Seminário Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos (SINGReH), Anais eletrônicos, Art. 58, http://www.ufrgs.br/iph/simposio. Gramado, RS. Acesso: janeiro de 2004.

ALLASIA, D.G.; TASSI, R.; NEVES, M.G.F.P.; VILLANUEVA, A.O.N.; TUCCI, C.E.M.; CRUZ, M.A.S. (2003). *Estudo de Caso: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre/RS*, In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Anais CD-Rom, Novembro de 2003.

ALVES, E. M. (2005). Uso de Medidas Não-Estruturais no Controle de Enchentes em Bacias Urbanas: O Caso do Córrego do Gregório, São Carlos, SP. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

AMOROS, C. (2001). The Concept of Habitat Diversity Between and within Ecosystems Applied to River Side-Arm Restoration. Environmental Management. Vol. 28, p.805-817.

ANA (2004). *Agência Nacional de Águas*. Home Page: http://www.ana.gov.br. Acesso: janeiro de 2004.

ANDRADE, M.C. (1994). *O Desafio Ecológico: Utopia e Realidade.* São Paulo. Editora Hucitec.

ASKEW, A.J. (1997). Water in the International Decade for Natural Disaster Reduction. Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control (Proceedings of the Conference held at Anaheim, California, June 1996). IAHS Publications, p.3-11.

BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O.; RAMOS, M.H.D.; CHAMPS, J.R.B. (1997). Aspectos da evolução da Urbanização e dos Problemas de Inundações em Belo Horizonte. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1997. Vitória, ES.

BARBASSA, A.P. (1991). Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial na Cidade de São Carlos/SP. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo.

BARROS, R.M.; ESTEVES, R.L.; MENDIONDO, E.M.; WENDLAND, E. (2003). Cálculo de Vazões e Cotas de Descarga em Eventos Críticos para Mapeamento de Inundações na Sub-Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos/SP. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2003. Curitiba, PR.

BENINI, R.M.; MENDIONDO, E.M.; MARTIOLI, C.; TONISSI, F.B. (2004). Cenários Ambientais Visando a Mitigação de Enchentes Decorrentes da Implantação do Campus II — USP, São Carlos, SP. Technote em: www.shs.eesc.usp/laboratorios/hidraulica. Acesso: janeiro de 2004.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. (2003). *Urbanización*. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2003.

BERZ, G. (2000). Flood Disasters: Lessons from the Past – Worries for the future. In: F. Toensmann & Kode (eds). River Flood Defense. V2. Kassel: Herkules Verlag, p. F1-F10.

BHADURI, B.; MINNER, M.; TATALOVICH, S.; HARBOR, J. (2001). *Long-Term Hydrologic Impact of Urbanization: A Tale of Two Models*. Journal of Water Resources Planning and Management – ASCE, Vol.127, N°01, p.13-19, Jan-Feb.

BUTLER, D.; PARKINSON, J. (1997). *Towards Sustainable Urban Drainage*. Water Science Technology. Vol.35, N° 09, p.53-63, Ed. Elsevier Science Ltd.

CAMPANA, N.A. & TUCCI, C.E.M. (2001). Predicting Floods from Urban Development Scenarios: Case Study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil. Urban Water. Volume 3, Issues 1-2, Pages 113-124 (March - June 2001). Ed. Elsevier Science Ltd.

CDCC (2002). *Bacias de São Carlos*. Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo / Setor de Biologia.

CHAN, N.W. (1997). Institucional Arrangements for Flood Hazard Management in Malaysia: An Evaluation Using the Criteria Approach. Disasters. Vol. 21, N°03, p.206-222.

CHOW, V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. International student Edition. Ed. McGraw-Hill Kogakusha, LTD.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1998). *Applied Hydrology*. Ed. McGraw-Hill. Series in Water Resources Environmental Engineering. ISBN 0-07-010810-2.

7

CORREIA, F.N.; SARAIVA, M.G.; SILVA, F.N.; RAMOS, I. (1999). Floodplain Management in Urban Developing Areas. Part I. Urban Growth Scenarios and Land-Use Controls. Water Resources Management, N°13, p.1-21.

COSTA JUNIOR, L.L. (2003). Avaliação da Ocupação e Impermeabilização do Solo e do Emprego de Medidas de Controle de Inundação no Lote, Bacia Hidrográfica Ponte Seca – Jaboticabal/SP. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. São Carlos, 2003.

CRUZ, M.A.S.; ARAÚJO, P.R.; AGRA, S.G.; SOUZA, V.C.B.; COLLISCHONN, W. (2001). *Valorização da Água no Meio Urbano: Um Desafio Possível.* XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2001. Aracajú, SE.

DAS NEVES, M.G.F.P.; TUCCI, C.E.M. (2003). Gerenciamento Integrado em Drenagem Urbana: Quantificação e Controle de Resíduos Sólidos. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2003. Curitiba, PR, Anais, ABRH, Aquacon.

DILLAHA, T.A. (1990). Role of Best Management Pactices in Restoring the Health of the Chesapeake Bay. In: Perspectives on the Chesapeake Bay, 1990: Advances in Estuarine Sciences. Chesapeake Bay Program.

DHI (2003). *Mike11 – A Modelling System for rivers and Channels*. User Guide. DHI Water & Environment, Software, 2003.

ELLIS, J.B. (1995). Integrated Approaches Achieving Sustainable Development of Urban Storm Drainage. Water Science & Technology. Vol.32, N° 1, p.1-6.

ESTEVES, R.L. (2003). Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana. - Relatório de Iniciação Científica para o PIBIC/CNPq./Digitado/NIBH/SHS/EESC/USP.

FAISAL, I.M.; KABIR, M.R.; NISHAT, A. (1999). Non-Structural Flood Mitigation Measures for Dhaka City. . Urban Water. Volume 1, Issue 2, Pages 145-153 (June 1999). Ed. Elsevier Science Ltd.

FALCOSKI, L.A.N. (1997). Dimensões Morfológicas e Desempenho: Instrumentos Urbanísticos de Planejamento e Desenho Urbano. São Paulo. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU, Universidade de São Paulo.

FOLHA DE SÃO PAULO (2004). *Ribeirão sofre a 3ª enchente em 14 dias*. Folha Ribeirão. In: Folha de São Paulo, 02 de Janeiro de 2005. São Paulo, SP.

FUJITA, S. (1998). Towards "Zero Emissions" in Urban Drainage Works. Novatech98 (IAHR/IAWQ), Vol.02, p.209-215, Proceedings.

FNUAP (2004). Fundo das Nações Unidas de Assistência à População. Home Page: http://www.fnuap.org.br. Acesso: Janeiro de 2004.

GOMES, C.A.B.M.; BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O. (2003). A Legislação Brasileira e o Uso de Técnicas Alternativas de Drenagem Urbana. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2003. Curitiba, PR, Anais, ABRH, Aquacon.

GUMBO, B.; MUNYAMBA, N.; SITHOLE, G.; SAVENIJE, H.H.G. (2002). Coupling of Digital Elevation Model and Rainfall-Runoff Model in Storm Drainage Network Design. Physics and Chemistry of the Earth, Vol.27, N°11-22, p.755-764.

HAESTAD METHODS (2002). *FlowMaster*. Computer Applications in Hydraulic Engineering. Fifth Edition. Waterbury, Connecticut.

HAESTAD METHODS (2003). PondPack User's Manual. Waterbury, Connecticut.

HENRY, C.P.; AMOROS, C. (1995). Restoration Ecology of Riverine Wetlands: A Scientific Base. Environmental Management. Vol. 19, p.891-902.

HUK, J.; MERCANTI, J. (2003). Medidas Estructurales y no Estructurales de Control Hidrológico Aplicadas a uma Cuenca Urbana de la Ciudad de Posadas, Misiones, Argentina. In: Hidrologia Urbana na Bacia do Prata. Porto Alegre. ABRH. Editora da Universidade/UFRGS.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION; UNITED NATIONS (2003). Living with Risk: Turning the tide on disasters towards sustainable developments – World Disaster Reduction Campaign. Geneva.

IPHS1 (2001). *IPHS1 para Windows – Manual de Fundamentos*. IPH – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ALM/FEA/IMF – Universidade Federal de Pelotas.

ISLAM, N. (2001). The Open Approach to Flood Control: The Way to the Future in Bangladesh. Artigo publicado no site: www.elsevier.com/locate/futures. Acesso: fevereiro de 2004.

LIMA, W.P. (1989). *Função hidrológica da mata ciliar*. In: Simpósio sobre mata ciliar. Anais. Fundação Cargill. Campinas, SP, p.25-42, **Anais**.

LIRA, A.M. (2003). Avaliação das Condições do Sistema de Macro-drenagem da Cidade de São Carlos. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

LOË, R.; WOJTANOWSKI, D. (2001). Associated Beneftis and Costs of the Canadian Flood Damage Reduction Program. Applied Geography. Vol. 21, p.1-21.

LORANDI, R. (1985). Caracterização dos Solos das Áreas Urbanas e Suburbanas de São Carlos e Suas Aplicações. Piracicaba. Tese (Doutorado) — Escola de Agricultura Luiz de Queiroz — ESALQ — Universidade de São Paulo.

MACEDO, R.F.; SOUZA, S.A.; ANDRADE, J.P.M.; MARCO, G.; MENDIONDO, E.M. (2004). *Cenários de Políticas de Controle de impactos Devido às Inundações*. Technote em: www.shs.eesc.usp/laboratorios/hidraulica. Acesso: Junho de 2004.

MACHADO, E.S. (1981). *Modelo Hidrológico Determinístico para Bacias Urbanas. São Carlos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

MARSALEK, J.; CHOCAT, B. (2002). *International Report: Stormwater Management*. Water Science & Technology, Vol.46, N°6-7, p.1-17.

MCT/CGE – Ministério da Ciência e Tecnologia / Centro de Estudos e Gestão Estratégica (2002). Diretrizes Estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Site: www.ana.gov.br.

MENDES, H.C. (2004). Expansão Urbana e Inundações: Histórico e Impactos. Reflexões sobre impactos das inundações e propostas de políticas públicas mitigadoras. Disciplina: Hidrologia Física — SHS 5874. Relatório NIBH, Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC, USP, p. 5-18.

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. Technote em: www.shs.eesc.usp/laboratorios/hidraulica. Acesso: Janeiro de 2005.

MENDIONDO, E.M. (2005). Scenarios of South American Floods – From Mitigation Disasters to Early – Warning Strategies. International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water-Related Disaster. Kyoto. Japan. p.12-15. January, 2005.

MILLERD, F.; DUFOURNAUD, C.M.; SCHAEFER, K. (1994). *Canada-Ontario Flood Damage Reduction Program: Case Studies*. Canadian Water Resources Journal. Vol.19, N°01, p.17-26.

MORRIS, S.; MOSES, T. (1999). *Urban Stream Rehabilitation: A Design and Construction Case Study*. Environment Management, Vol.23, N°02, p.165-177.

MOTA, F.S.B. (1980). Disciplinamento do Uso do Solo Urbano Visando a Preservação do Meio Ambiente. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo.

MOTTA, R.; REZENDE, L. (1999). *The Impact of Sanitation on Waterborne Diseases on Brazil* in: Peter H. May (org.) Natural Resources Valuation and Policy in Brazil: Methods and Cases, p. 174-187. **Proceedings**. New York Columbia University Press.

MOTA, S. (1995). Faixas de Proteção de Recursos Hídricos Superficiais, In: "Preservação e Conservação de Recursos Hídricos", ABES, Rio de Janeiro, 2ª Ed.. Cap.9, p. 107-128.

MS (1999). Ministério da Saúde, Home Page: http://www.portal.saude.gov.br. Acesso: Janeiro de 2003.

NASCIMENTO, N.O.; BAPTISTA, M.B. (2002). Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. Artigo da RBRH, Volume 7, Número 1, Janeiro/Março 2002.

NIBH (2004a). Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas. Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP. FINEP – CT-Hidro / EESC-USP / DAEE-SP / FIPAI, 01.02.0086.00. Site: www.planodiretorbus.hpgvip.ig.com.br. Acesso: Novembro de 2004.

NIBH (2004b). Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, do Departamento de Hidráulica e Saneamento – SHS, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP. (www.shs.eesc.usp.br/laboratórios/hidraulica). Acesso: Novembro de 2004.

NRA – National Rivers Authority (1994). Guidance Notes for Local Planning Authorities on the Methods of Protecting the Water Environment Through Development Plans. NRA. Bristol.

OLIVEIRA, C.P.M.; PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; ROBERTO, A.N. (1999). ABC6, um Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Cheias em Bacias Complexas. Artigo do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais, ABRH, Belo Horizonte, MG.

OLIVEIRA, R.C. (1998). Medidas não Estruturais na Prevenção e Controle de Enchentes em Áreas Urbanas como Subsídios para o Planejamento de Uso e Ocupação do Solo: Estudo de Caso: Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos/SP. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

OHNUMA JÚNIOR, A.A. (2005). Cenários de Reuso de Água Pluvial e Controle da Drenagem Visando a Recuperação Ambiental da Micro-Bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos/SP. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

OSTROWSKY, M.S.B. (1998). The Adoption of Non-Structural Measures for Flood Control in Pirajuçara Creek Basin. In International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas. São Paulo / Brazil / Abril 1998, Proceedings, p.295-304.

OSTROWSKY, M.S.B. (2001). Sistemática Integrada para Controle de Inundações em Sub-Bacias Hidrográficas Urbanas. Estudo de Caso: Bacia do córrego Pirajuçara sob o Enfoque da Integração de Obras com Ação de Educação e Percepção Ambiental. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2001. Aracajú, SE. Anais CD-Rom, ABRH, 20p. cd-rom.

PARKINSON, J. (2003). *Drainage and Stormwater Management Strategies for Low-Income Urban Communities*. Environment & Urbanization, Vol.15, N°02, p.115-126.

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos (2004). Plano Diretor de São Carlos I: Projeto de Lei, Proc. 2146.03, PL 215, **CD-Rom**.

POMPÊO, C.; ROSA, F.Z.; OLIVETTI, S.M.P. (1998). *Drenagem Urbana em Santa Catarina*. In: Drenagem Urbana, menos alagamentos, mais qualidade de vida. Assemae, Núcleo de Drenagem Urbana, p.53-58. Porto Alegre, RS.

POMPÊO, C.A. (2000). *Drenagem Urbana Sustentável*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 5, Número 1, Janeiro/Março 2000.

PORTO, R.L.L.; AZEVEDO, L.G.T. (1997). Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: PORTO, R.L.L., (org.), Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre, UFRGS/ABRH, Cap.02, p.43-96.

PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; BIDONE, F. (2001). Drenagem Urbana. In: TUCCI, C.E.M., (org.), Hidrologia Ciência e Aplicação. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 3ª ed.

PRIMEIRA PÁGINA (2004a). *Temporal Assusta, mas Não Causa Estragos na Cidade*. **Jornal Primeira Página**, 16 de Dezembro de 2004. São Carlos, SP. Ano XVII. Nº 4.250.

PRIMEIRA PÁGINA (2004b). *Chuva Causa Prejuízo e Transtornos para Camelôs*. **Jornal Primeira Página**, 21 de Dezembro de 2004. São Carlos, SP. Ano XVII. Nº 4.254.

QUEIROZ, 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. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

RAMOS, M.H.D.; BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O. (1997). Impactos das Alterações da Lei de Uso e Ocupação do Solo em Belo Horizonte no Cálculo de Hidrogramas de Projeto. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1997, Anais, ABRH. Vitória, ES.

RIGHETTO, A.M.; PORTO, R.M.; VILLELA, S.M. (1993). Adequação de Metodologia para Estudos Hidrológicos de Macro Drenagem Urbana — Aplicação para a Cidade de São Carlos. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais, ABRH. Gramado, RS.

RIGHETTO, J.M.; MENDIONDO, E.M. (2004). Avaliação de Riscos Hidrológicos: Principais Danos e Causas e Proposta de Seguro Contra Enchentes. III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste – Goiânia (GO), Anais CD-Rom, ABRH/Acquacon.

SILVA, K.A. (2003). Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação e Parâmetros Hidrológicos em uma Bacia Experimental: Estudo Teórico Experimental da Transformação da Chuva em uma Pequena Bacia Hidrográfica Urbana. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo.

SILVA K.A.; LIRA, A.M.; MENDIONDO, E.M.; PORTO, R.M.; WENDLAND, E.C.; VECCHIA, F. (2003). *Monitoramento Hidro-Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanas: Estudo de Caso: A Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos-SP*. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2003. Curitiba, PR, Anais CD-Rom, ABRH/Acquacon,

SILVEIRA, A.L.L. (2002). *Problems of Modern Urban Drainage in Developing Countries*. Water Science & Technology, Vol. 45, N° 07, p.31-40.

SOUZA, M.P. (2000). Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática. São Carlos. Riani Costa.

TERRAZAS, L.E.M.; SALENE, M.E. (2003). *Bolívia*. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. (org.), *Inundações Urbanas na América do Sul*, ABRH/Porto Alegre, Parte II.

TRIBUNA IMPRESSA (2004a). *Meia Hora de Temporal: Acidentes, Inundações e Caos no Trânsito*. **Jornal Tribuna Impressa**, 10 de Dezembro de 2004. Araraquara, SP. Ano 7. Edição N° 2.444.

TRIBUNA IMPRESSA (2004b). *Chuva Castiga Região Central de Matão*. **Jornal Tribuna Impressa**, 22 de Dezembro de 2004. Araraquara, SP. Ano 7. Edição N° 2.456.

TRICART, J.; KILIAN, J. (1982). La Eco-Geografia y la Ordenación del Medio Natural. Editora Anagrama, 288p.

TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre.

TUCCI, C.E.M. (2002). *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 3ª ed.

TUCCI, C.E.M. (2003). *Inundações e Drenagem urbana*. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. (org.), *Inundações Urbanas na América do Sul*, ABRH/Porto Alegre.

TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M. (2001). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vol.02, 1ªedição.

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J.; GERMANO, A. (2003). *Brasil*. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. (org.), **Inundações Urbanas na América do Sul**, ABRH/Porto Alegre, Parte II.

USACE (1990). U.S. Army Corps of Engineers. *HEC-2 Water Surface Profiles User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, CPD-2 Davis, CA.

VAZ FILHO, P. (2000). Sistema de Micro-Drenagem Urbana: Análise de Aspectos de Funcionamento para a Elaboração de um Plano Gerencial. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos.

VILLANUEVA, A.O.N.; TASSI, R.; ALLASIA, D.G. (2004). *Planos Diretores de Drenagem Urbana: Os Casos de Porto Alegre e Caxias do Sul – RS – Brasil*. Artigo publicado no site do Instituto de Pesquisas Hidrológicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS, Brasil (www.iph.ufrgs.br.data).

WISSMAR, R.C.; TIMM, R.K.; LOGSDON, M.G. (2004). Effects of changing forest and Impervious Land Covers on Discharge Characteristics of Watersheds. Environment Management. Vol. 34, N°01, p.91-98.

WORLD BANK (1999). World Development Indicators. World Bank.

ANEXO A – Relatório detalhado dos cálculos das vazões máximas limites nas seções, pelo software FlowMaster.

# Worksheet Worksheet for Irregular Channel

Project Description		Input Data	0.013000 m/m
Worksheet Flow Element Method Solve For	seção 1 Irregular Channel Manning's Formula Discharge		
Options	Mothed Improve	ed Lotter's Method	

Current Roughness Method
Open Channel Weighting Method
Closed Channel Weighting Method
Closed Channel Weighting Method
Closed Channel Weighting Method

Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Natural Channel Points Station (m) Elevation (m)		Roughness Segments  Start Station End Station Mannings Coefficient		
0+00.00	0.00	0100.00	C-40	
0+01.00	-0.34			
0+02.00	-0.82			
0+02.00	-1.68			
0+03.00	-1.71			
0+04.00	-1.94			
0+05.00	-2.10			
0+06.00	-2.43			
0+07.00	-2.78			
0+08.00	-2.47			
0+09.00	-2.21			
0+10.00	-2.15			
0+10.50	-1.50			
0+11.00	-1.28			
0+11.00	-0.38			
0+12.00	0.00			

# **Cross Section Cross Section for Irregular Channel**

# **Project Description**

Worksheet
Worksneet

seção 1

Flow Element

Irregular Channel Manning's Formula

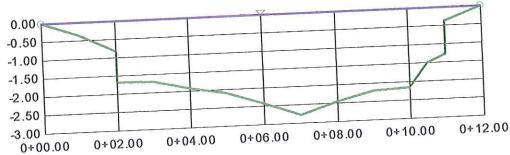
Method

Solve For

Discharge

## Section Data

Section Data	
Mannings Coefficient	0.030
	0.013000 m/m
Slope Water Surface Elevation	0.00 m
	-2.78 to 0.00
Elevation Range	95 m³/s
Discharge	75.5 8



<b>Project Description</b>			
Worksheet Flow Element Method Solve For	seção 2 Irregular Channel Manning's Formula Discharge	Input Data Slope Water Surface Elevation	0.018000 m/m 0.00 m

### Options

Options	
Current Roughness Method Open Channel Weighting Method Closed Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method Improved Lotter's Method Horton's Method

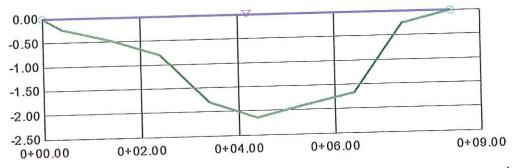
Results	
Mannings Coefficient Elevation Range Discharge Flow Area Wetted Perimeter Top Width Actual Depth Critical Elevation Critical Slope	0.030 -2.14 to 0.00 39 m³/s 9.2 m² 9.83 m 8.39 m 2.14 m 0.21 m 0.010547 m/m 4.28 m/s
Velocity Velocity Head Specific Energy Froude Number Flow Type	0.93 m 0.93 m 1.30 Supercritical

Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Rou	ghness Seg	ments
Start Station	End Station	Mannings Coefficient
0+00.00	0+08.39	0.030

Natural Channel Points		
Station (m)	Elevation (m)	
0+00.00	0.00	
0+00.39	-0.23	
0+01.39	-0.48	
0+02.39	-0.80	
0+03.39	-1.80	
0+04.39	-2.14	
0+05.39		
0+06.39	-1.68	
0+07.39	-0.25	
0+08.39	0.00	

Project Description	
Worksheet	seção 2
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge
Section Data	
Mannings Coefficient	0.030
Slope	0.018000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-2.14 to 0.00
Discharge	39 m³/s



V:1 H:1 NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\iphs\projeto1\_flowmaster.fm2 6/23/2005 6:48:04 PM Waterbury, CT 06708 USA (203) 755-1666

Academic Edition © Haestad Methods, Inc. FlowMaster v6.1 [6140] 37 Brookside Road

<b>Project Description</b>		Input Data	
Worksheet	seção 3	Oleman	0.010000 m/m
Flow Element	Irregular Channel	Slope	0.010000 110111
Method	Manning's Formula	Water Surface Elevation	0.00 m
Solve For	Discharge		

### Options

Current Roughness Method	Improved Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

Results	
Mannings Coefficient	0.027
Elevation Range	-3.52 to 0.00
Discharge	101 m <sup>3</sup> /s
Flow Area	$21.3 \text{ m}^2$
Wetted Perimeter	14.71 m
Top Width	11.84 m
Actual Depth	3.52 m
Critical Elevation	0.15 m
Critical Slope	0.007850 m/m
Velocity	4.74 m/s
Velocity Head	1.15 m
Specific Energy	1.15 m
Froude Number	1.13
Flow Type	Supercritical

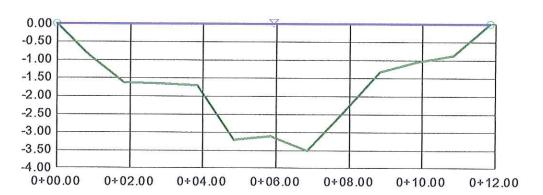
Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

	Roughness Segments	
Start Station	End Station	Mannings Coefficient
0+00.00	0+11.84	0.027

Natural Cha	Natural Channel Points	
Station (m)	Elevation (m)	
0+00.00	0.00	
0+00.84	-0.85	
0+01.84	-1.64	
0+02.84	-1.66	
0+03.84	-1.70	
0+04.84	-3.20	
0+05.84	-3.10	
0+06.84	-3.52	
0+07.84	-2.46	
0+08.84	-1.34	
0+09.84	-1.04	
0+10.84	-0.88	
0+11.84	0.00	

n
seção 3
Irregular
Channel
Manning's
Formula
Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.027
Slope	0.010000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-3.52 to 0.00
Discharge	101 m <sup>3</sup> /s



V:1 \( \sum\_ H:1 NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\tiphs\projeto1\_flowmaster.fm2 6/23/2005 15:36:51

Academic Edition
© Haestad Methods, Inc.

FlowMaster v6.1 [614o] 37 Brookside

Road

Waterbury, CT 06708 USA (203) 755-1666

 Project Description

 Worksheet
 seção 4

 Flow Element
 Irregular Channel

 Slope
 0.0360 m/m

Method Manning's Formula Water Surface Elevation 0.00 m

**Options** 

Solve For

Current Roughness Method
Open Channel Weighting Method
Closed Channel Weighting Method
Closed Channel Weighting Method
Horton's Method

Discharge

Results 0.030 Mannings Coefficient -1.02 to 0.00 **Elevation Range** 23 m³/s Discharge 4.8 m<sup>2</sup> Flow Area 7.15 m Wetted Perimeter 6.58 m Top Width 1.02 m Actual Depth 0.36 m Critical Elevation Critical Slope 0.010881 m/m 4.85 m/s Velocity 1.20 m Velocity Head 1.20 m Specific Energy 1.81 Froude Number Supercritical Flow Type

Calculation Messages:

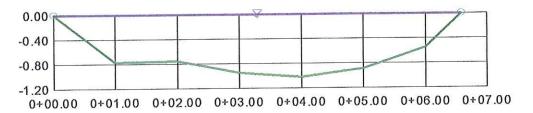
Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Roughness Segments		
Start	End	Mannings
Station	Station	Coefficient
0+00.00	0+06.58	0.030

Natural Channel Points	
Station	Elevation
(m)	(m)
0+00.00	0.00
0+01.00	-0.77
0+02.00	-0.75
0+03.00	-0.94
0+04.00	-1.02
0+05.00	-0.89
0+06.00	-0.55
0+06.58	0.00

Project Description	
Worksheet	seção 4
Flow Element	Irregular
	Channel
Method	Manning's
	Formula
Solve For	Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.030
Slope	0.036000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-1.02 to 0.00
Discharge	23 m³/s



Project Description	1	Input Data	
Worksheet	seção 5	Percent A position (18) percent in a supplication of the second of the	
Flow Element	Irregular Channel	Slope	0.0360 m/m
Method	Manning's Formula	Water Surface Elevation	0.00 m
Solve For	Discharge		

### Options

Current Roughness Method	Improved Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

Results	
Mannings Coefficient	0.080
Elevation Range	-2.42 to 0.00
Discharge	43 m <sup>3</sup> /s
Flow Area	14.9 m <sup>2</sup>
Wetted Perimeter	11.01 m
Top Width	9.50 m
Actual Depth	2.42 m
Critical Elevation	-0.34 m
Critical Slope	0.067744 m/m
Velocity	2.91 m/s
Velocity Head	0.43 m
Specific Energy	0.43 m
Froude Number	0.74
Flow Type	Subcritical

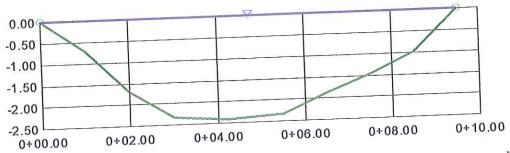
Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Roughness Segments		
Start	End	Mannings
Station	Station	Coefficient
0+00.00	0+09.50	0.080

Natural Channel Points	
Station (m)	Elevation (m)
0+00.00	0.00
0+01.00	-0.70
0+02.00	-1.69
0+03.00	-2.32
0+04.25	-2.42
0+05.50	-2.32
0+06.50	-1.86
0+07.50	-1.47
0+08.50	-0.98
0+09.50	0.00

Project Description	
Worksheet	seção 5
Flow Element	Irregular Channel
	Manning's Formula
Method	Discharge
Solve For	Discumen

Section Data	
Mannings Coefficient	0.080
	0.036000 m/m
Slope Water Surface Elevation	0.00 m
	-2.42 to 0.00
Elevation Range	43 m³/s
Discharge	



:1 \\_ H:1 NTS

### **Project Description**

Input Data

Worksheet

seção 6

Slope

0.0160 m/m

Flow Element

Irregular Channel

Water Surface Elevation

0.00 m

Method

Manning's Formula

Solve For

Discharge

### Options

Current Roughness Method Open Channel Weighting Method Improved Lotter's Method Improved Lotter's Method

Closed Channel Weighting Method

Horton's Method

Donulte

Results	emploration and
Mannings Coefficient	0.030
Elevation Range	-2.89 to 0.00
	81 m³/s
Discharge	15.2 m <sup>2</sup>
Flow Area	10.69 m
Wetted Perimeter	8.66 m
Top Width	2.89 m
Actual Depth	
Critical Elevation	0.32 m
Critical Slope	0.009901 m/m
Velocity	5.33 m/s
Velocity Head	1.45 m
	1.45 m
Specific Energy	1.29
Froude Number Flow Type	Supercritical
SEE 10 (\$2,000)	

Calculation Messages:

0+00.00

Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

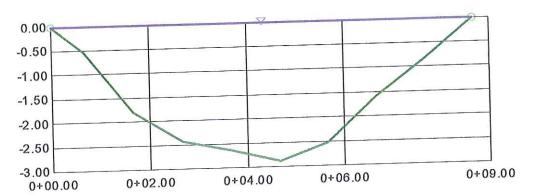
**Roughness Segments** Mannings End Start Coefficient Station Station 0.030

0+08.66

Natural Channel **Points** Elevation Station (m) (m) 0.00 0+00.00-0.530+00.66 -1.800+01.66 -2.430+02.66-2.650+03.66 -2.890+04.66 -2.530 + 05.66-1.600+06.66 -0.850+07.66 0.00 0+08.66

Project Description	
Worksheet	seção 6
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.030
Slope	0.016000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-2.89 to 0.00
Discharge	81 m³/s



V:1 \\_\_\_ H:1 NTS

<b>Project Description</b>		Input Data	
Worksheet	Seção 7 Irregular Channel	Slope	0.0160 m/m
Flow Element Method	Manning's Formula	Water Surface Elevation	0.00 m
Solve For	Discharge		

### Options

Current Roughness Method	Improved Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

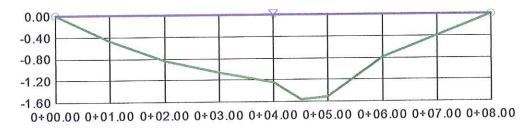
Results	
Mannings Coefficient	0.030
Elevation Range	-1.57 to 0.00
Discharge	22 m³/s
Flow Area	6.4 m <sup>2</sup>
Wetted Perimeter	8.69 m
Top Width	8.00 m
Actual Depth	1.57 m
Critical Elevation	0.12 m
Critical Slope	0.010517 m/m
Velocity	3.43 m/s
Velocity Head	0.60 m
Specific Energy	0.60 m
Froude Number	1.23
Flow Type	Supercritical

Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Roughness Segments		
Start	End	Mannings
Station	Station	Coefficient
0+00.00	0+08.00	0.030

Natural Channel Points		
Station	Elevation	
(m)	(m)	
0+00.00	0.00	
0+01.00	-0.47	
0+02.00	-0.83	
0+03.00	-1.05	
0+04.00	-1.25	
0+04.50	-1.57	
0+05.00	-1.51	
0+06.00	-0.79	
0+08.00	0.00	

Project Description		
Worksheet	Seção 7	
Flow Element	Irregular Channel	
Method	Manning's Formula	
Solve For	Discharge	
Section Data		
Mannings Coefficient	0.030	
Slope	0.016000 m/m	
Water Surface Elevation	0.00 m	
Elevation Range	-1.57 to 0.00	
Discharge	22 m³/s	



V:1 \( \sum\_{H:1} \)
NTS

Project Descripti	on	Input Data	
Worksheet Flow Element Method Solve For	seção 8 Irregular Channel Manning's Formula Discharge	Slope Water Surface Elevation	0.0160 m/m 0.00 m

### Options

Current Roughness Method	I
Open Channel Weighting Method	I
Closed Channel Weighting Method	

Improved Lotter's Method Improved Lotter's Method Horton's Method

### Results 0.080 Mannings Coefficient -1.46 to 0.00 **Elevation Range** 5 m3/s Discharge Flow Area $4.0 \text{ m}^2$ Wetted Perimeter 5.45 m 4.40 m Top Width 1.46 m Actual Depth Critical Elevation -0.49 m 0.092443 m/m Critical Slope 1.29 m/s Velocity 0.09 m Velocity Head Specific Energy 0.09 m Froude Number 0.43 Subcritical Flow Type

### Calculation Messages:

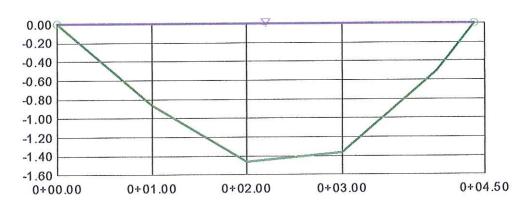
Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

Roughness Segments		
Start	End	Mannings
Station	Station	Coefficient
0+00.00	0+04.40	0.080

Natural Channel Points		
Station (m)	Elevation (m)	
0+00.00	0.00	
0+01.00	-0.86	
0+02.00	-1.46	
0+03.00	-1.36	
0+04.00	-0.50	
0+04.40	0.00	

<b>Project Description</b>	
Worksheet	seção 8
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.080
Slope	0.016000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-1.46 to 0.00
Discharge	5 m³/s



V:1 \( \sum\_{H:1} \)
NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\iphs\projeto1\_flowmaster.fin2 6/23/2005 04:32:22 PM Waterbury, CT 06708 USA (203) 755-1666

Academic Edition
© Haestad Methods, Inc.

FlowMaster v6.1 [6140] 37 Brookside Road ANEXO B - Relatório detalhado dos cálculos da vazão máxima limite na seção 1 para a rugosidade  $\eta=0.11$ , pelo software FlowMaster.

Project Descripti	on	Input Data	
Worksheet Flow Element Method Solve For	seção 1 Irregular Channel Manning's Formula Discharge	Slope Water Surface Elevation	0.0130 m/m 0.00 m

### Options

Current Roughness Method	Improved Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

Results		
Mannings Coefficient	0.110	
Elevation Range	-2.78 to 0.00	
Discharge	26	m³/s
Flow Area	20.1	$m^2$
Wetted Perimeter	14.60	m
Top Width	12.00	m
Actual Depth	2.78	m
Critical Elevation	-1.19	m
Critical Slope	0.142757	m/m
Velocity	1.28	m/s
Velocity Head	0.08	m
Specific Energy	0.08	m
Froude Number	0.32	
Flow Type	Subcritical	

Calculation Messages: Water elevation exceeds lowest end station by 0.0 ft.

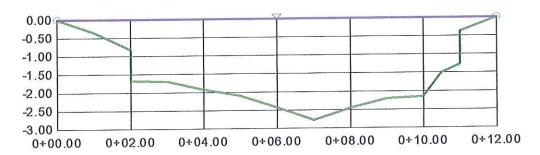
Natural	Channel	Roughness Segmen		nts
Poi	ints	Start Station	End Station	N
Station	Elevation			C
(m)	(m)	0+00.00	0+12.00	
0+00.00	0.00			
0+01.00	-0.34			
0+02.00	-0.82			
0+02.00	-1.68			
0+03.00	-1.71			
0+04.00	-1.94			
0+05.00	-2.10			
0+06.00	-2.43			
0+07.00	-2.78	(2)		
0+08.00	-2.47			
0+09.00	-2.21			
0+10.00	-2.15			
0+10.50	-1.50			
0+11.00	-1.28			
0+11.00	-0.38			
0+12.00	0.00			

Mannings Coefficient

0.110

<b>Project Description</b>	
Worksheet	seção 1
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.110
Slope	0.013000 m/m
Water Surface Elevation	0.00 m
Elevation Range	-2.78 to 0.00
Discharge	26 m³/s



V:1 \( \rightarrow\)
H:1
NTS

ANEXO C - Relatório detalhado dos cálculos dos níveis atingidos pela água, aumentando a seção (inserção da planície de inundação) para as chuvas de projeto com período de retorno de 10, 25 e 50 anos, para a rugosidade  $\eta=0.11$  (software FlowMaster).

# Simulação para chuva com Tr = 10 anos

## **Worksheet for Irregular Channel**

Project Descripti	on		Input Data	
Worksheet Flow Element Method Solve For	Seção 1 Irregular Char Manning's For Discharge	mel	Slope Water Surface Elevation	0.0130 m/m -0.82 m
Options				
Current Roughnes Open Channel We Closed Channel V	eighting Method	Improved Lotter's M Improved Lotter's M Horton's M	Method	

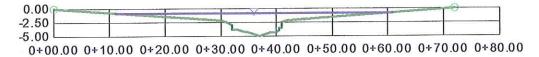
Results		
Mannings Coefficient	0.110	
Elevation Range	-5.00 to 0.00	
Discharge	74	m³/s
Flow Area	63.4	$m^2$
Wetted Perimeter	52.84	m
Top Width	49.84	m
Actual Depth	4.18	m
Critical Elevation	-2.36	m
Critical Slope	0.135852	m/m
Velocity	1.17	m/s
Velocity Head	0.07	m
Specific Energy	-0.75	m
Froude Number	0.33	
Flow Type	Subcritical	

Natural Channel Points		
Station	Elevation	
(m)	(m)	
0+00.00	0.00	
0+30.00	-2.22	
0 + 31.00	-2.56	
0 + 32.00	-3.04	
0+32.00	-3.90	
0 + 33.00	-3.93	
0+34.00	-4.16	
0+35.00	-4.32	
0+36.00	-4.65	
0+37.00	-5.00	
0+38.00	-4.69	
0+39.00	-4,43	
0+40.00	-4.37	
0+40.50	-4.10	
0+40.50	-3.50	
0+41.00	-3.50	
0+41.00	-2.60	
0+42.00	AMERICAN COL	
0+72.00	0.00	

Rou	ghness Seg	ments
Start Station	End Station	Mannings Coefficient
0+00.00	0+72.00	0.110

<b>Project Description</b>	
Worksheet	Seção 1
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's
	Formula
Solve For	Discharge

Section Data		
Mannings Coefficient	0.110	
Slope	0.013000	m/m
Water Surface Elevation	-0.82	m
Elevation Range	-5.00 to 0.00	
Discharge	74	m³/s



V:1 \\_\_\_\_ H:1 NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\iphs\projeto1\_flowmaster.fim2 6/23/2005 05:01:41 PM Waterbury, CT 06708 USA (203) 755-1666

Academic Edition © Haestad Methods, Inc.

FlowMaster v6.1 [6140] 37 Brookside Road

## Simulação para chuva com Tr = 25 anos

## **Worksheet for Irregular Channel**

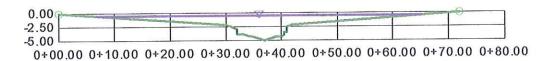
<b>Project Description</b>		******		Input 1	Data	and the second s
Worksheet	Seção 1			Slope		0.0130 m/m
Flow Element	Irregular Cha	nnel		Water	Surface Elevation	-0.50 m
Method	Manning's F					
Solve For	Discharge	or in the				
SOIVE FOI	Discharge					
Options						
Current Roughness M	lethod	Improve	ed Lotter'	s Method		
Open Channel Weigh		Improve	ed Lotter'	s Method		
Closed Channel Weig	thing Method		Horton'	s Method		
Results						
Mannings Coefficient		0.110				
Elevation Range	-5.00	to 0.00				
Discharge		100	m³/s			
Flow Area		80.8	$m^2$			
Wetted Perimeter		61.51	m			
Top Width		58.49	m			
Actual Depth		4.50	m			
Critical Elevation		-1.71	m			
Critical Slope	0	.130561	m/m			
Velocity		1.24	m/s			
Velocity Head		0.08	m			
Specific Energy		-0.42	m			
Froude Number		0.34				
Flow Type	Su	bcritical				

Natural Poi	Channel
	Elevation
(m)	(m)
0+00.00	0.00
0+30.00	-2.22
0+31.00	-2.56
0+32.00	-3.04
0+32.00	-3.90
0+33.00	-3.93
0+34.00	-4.16
0+35.00	-4.32
0+36.00	-4.65
0+37.00	-5.00
0 + 38.00	-4.69
0+39.00	-4.43
0+40.00	-4.37
0+40.50	-4.10
0+40.50	-3.50
0+41.00	-3.50
0+41.00	-2.60
0+42.00	-2.22
0+72.00	0.00

Rou	ghness Segr	nents
Start Station	End Station	Mannings Coefficient
0+00.00	0+72.00	0.110

Project Description	
Worksheet	Seção 1
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Section Data	
Mannings Coefficient	0.110
Slope	0.013000 m/m
Water Surface Elevation	-0.50 m
Elevation Range	-5.00 to 0.00
Discharge	100 m³/s



/:1 \\_\_\_ H:1 NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\iphs\projeto1\_flowmaster.fm2 6/23/2005 05:09:56 PM Waterbury, CT 06708 USA (203) 755-1666

Academic Edition
© Haestad Methods, Inc.

FlowMaster v6.1 [614o] 37 Brookside Road

## Simulação para chuva com Tr = 50 anos

## **Worksheet for Irregular Channel**

Project Descriptio	n		
Worksheet Flow Element	Seção 1 Irregular Channel	Input Data	
Method Solve For	Manning's Formula Discharge	Slope Water Surface Elevation	0.0130 m/m -0.23 m

Options	
Current Roughness Method	Improved Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Improved Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

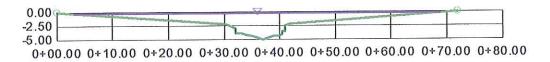
Results		
Mannings Coefficient	0.110	
Elevation Range	-5.00 to 0.00	
Discharge	128	m³/s
Flow Area	97.5	$m^2$
Wetted Perimeter	68.83	m
Top Width	65.78	m
Actual Depth	4.77	m
Critical Elevation	-1.43	m
Critical Slope	0.127136	m/m
Velocity	1.31	m/s
Velocity Head	0.09	m
Specific Energy	-0.14	m
Froude Number	0.34	
Flow Type	Subcritical	

	Natural Channel Points	
Station	Elevation	
(m)	(m)	
0+00.00	0.00	
0+30.00	-2.22	
0+31.00	-2.56	
0 + 32.00	-3.04	
0+32.00	-3.90	
0 + 33.00	-3.93	
0+34.00	-4.16	
0 + 35.00	-4.32	
0+36.00	-4.65	
0 + 37.00	-5.00	
0 + 38.00	-4.69	
0+39.00	-4.43	
0+40.00	-4.37	
0 + 40.50	-4.10	
0+40.50	-3.50	
0+41.00	-3.50	
0+41.00	-2.60	
0+42.00	-2.22	
0+72.00	0,00	

Start	End	Mannings	
Station	Station	Coefficient	
0+00.00	0+72.00	0.110	

<b>Project Description</b>		
Worksheet	Seção 1	
Flow Element	Irregular Channel	
Method	Manning's	
	Formula	
Solve For	Discharge	

Section Data		
Mannings Coefficient	0.110	
Slope	0.013000	m/m
Water Surface Elevation	-0.23	m
Elevation Range	-5.00 to 0.00	
Discharge	128	m³/s



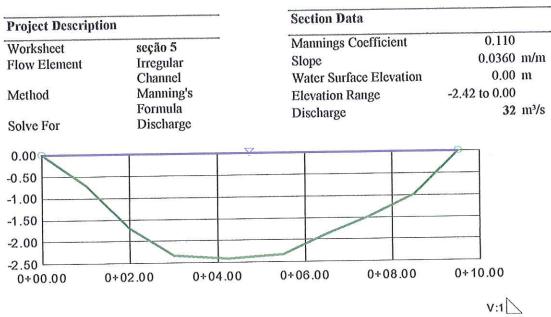
:1 \\_\_\_ H:1 NTS ANEXO D - Relatório dos dados calculados para a vazão limite na seção 5 (subbacia 6), para os valores de rugosidade:  $\eta=0.03$  e  $\eta=0.11$ , pelo software FlowMaster.

## Vazão limite para rugosidade do trecho $\eta=0.03$

# Cross Section for Irregular Channel

Project Descripti	on	Section Data	
Worksheet Flow Element Method Solve For	seção 5 Irregular Channel Manning's Formula Discharge	Mannings Coefficient Slope Water Surface Elevation Elevation Range Discharge	0.030 0.036000 m/m 0.00 m -2.42 to 0.00 116 m <sup>3</sup> /s
0.00 -0.50 -1.00 -1.50 -2.00 -2.50 0+00.00	0+02.00 0+04.00	0+06.00 0+08.00	0+10.000 V:1 H:1 NTS

## Vazão limite para rugosidade do trecho η = 0,11 Cross Section for Irregular Channel



V:1 \\_\
H:1
NTS

Project Engineer: Rodrigo c:\...\rodrigo\iphs\projeto1\_flowmaster.fm2 6/23/2005 05:16:32 PM

Academic Edition
© Haestad Methods, Inc.

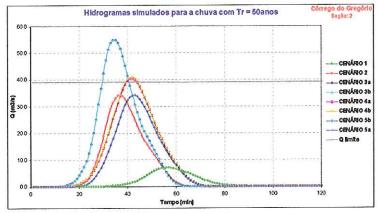
FlowMaster v6.1 [6140] 37 Brookside Road ANEXO E – Hidrogramas das simulações das seções: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08.

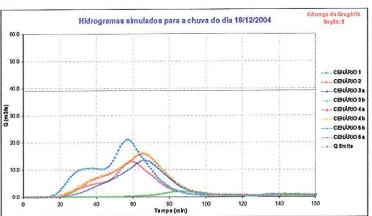
# Seção 02 (Área de drenagem ~1,5 km²)

⇒ A área a montante não possui trechos canalizados.





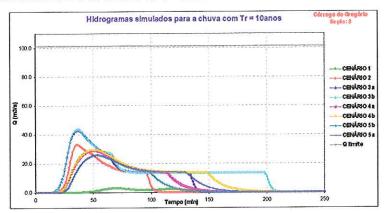


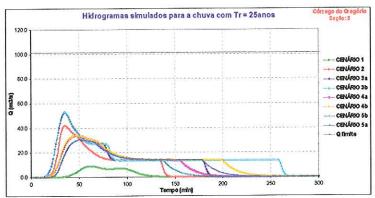


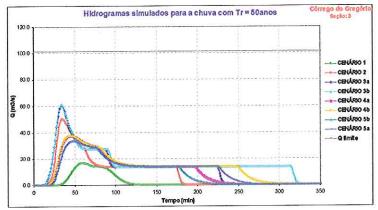
11

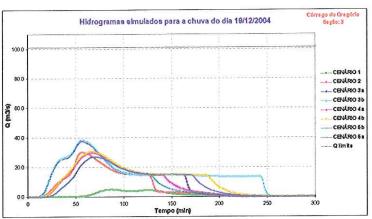
# Seção 03 (Área de drenagem ~7,6 km²)

⇒ Simulações considerando os trechos canalizados.







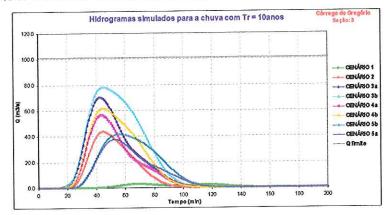


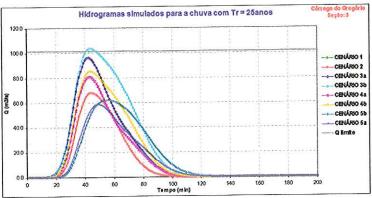
7)

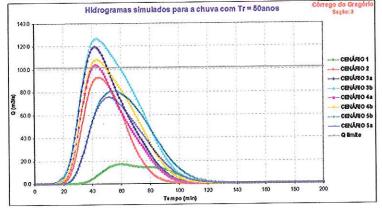
# Seção 03 (Área de drenagem ~7,6 km²)

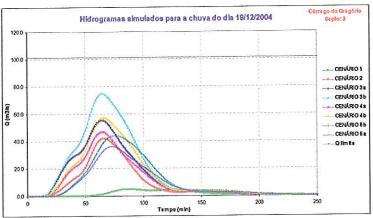
⇒ Simulações considerando os trechos descanalizados.

30







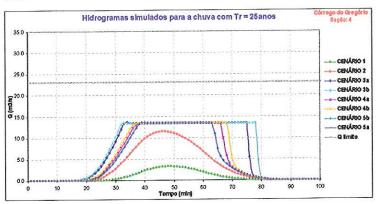


# Seção 04 (Área de drenagem ~1,3 km²)

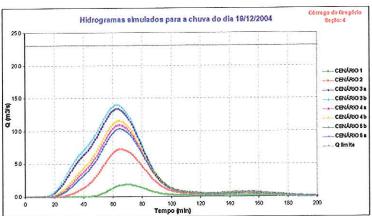
⇒ Simulações considerando os trechos canalizados.

10



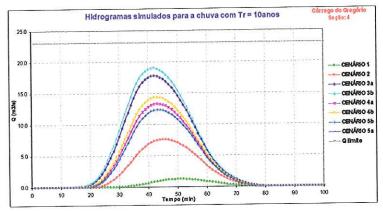


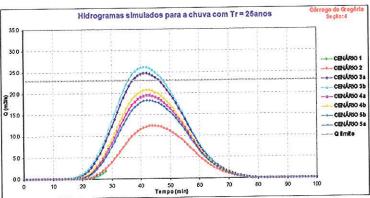


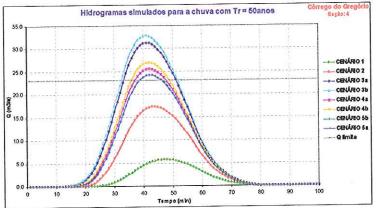


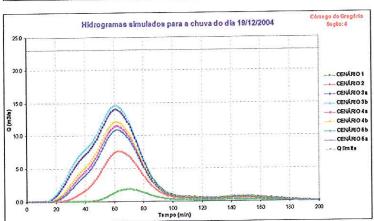
# Seção 04 (Área de drenagem $\sim 1,3 \text{ km}^2$ )

⇒ Simulações considerando os trechos descanalizados.



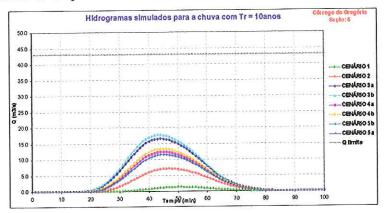


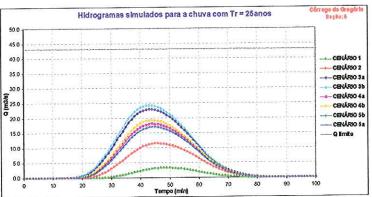


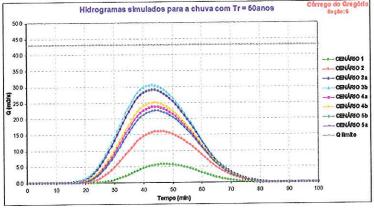


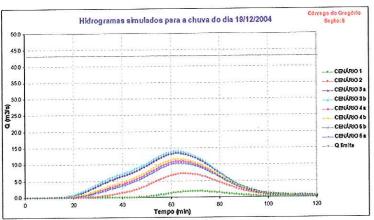
# Seção 05 (Área de drenagem $\sim 1,3 \text{ km}^2$ )

⇒ A área a montante não possui trechos canalizados.







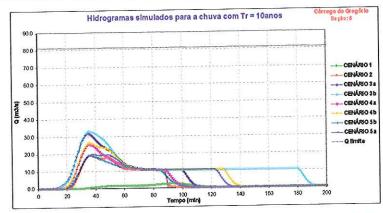


# Seção 06 (Área de drenagem ~ 4,6 km²)

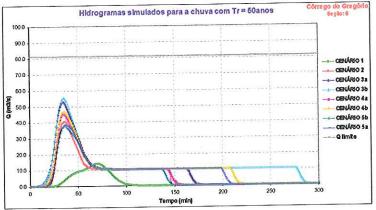
⇒ Simulações considerando os trechos canalizados.

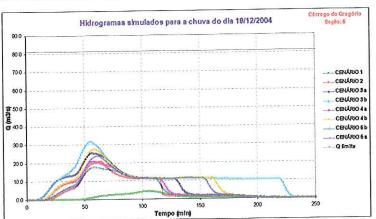
0

9



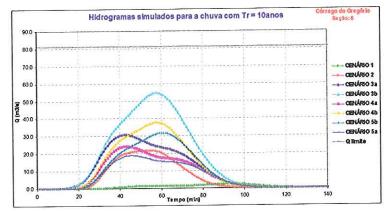


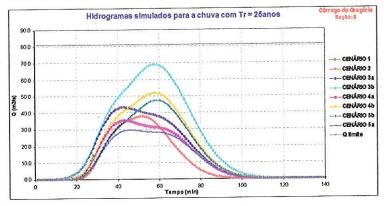


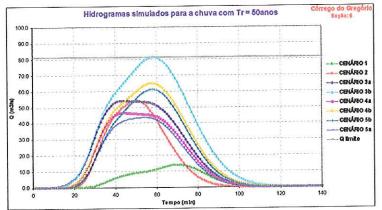


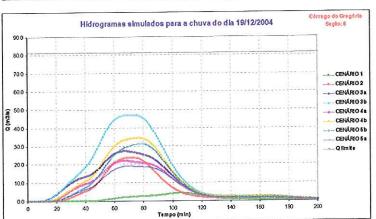
# Seção 06 (Área de drenagem $\sim 4,6 \text{ km}^2$ )

⇒ Simulações considerando os trechos descanalizados.



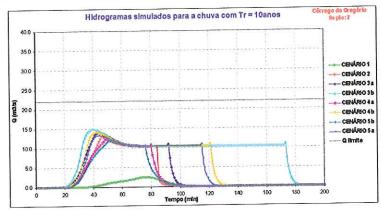


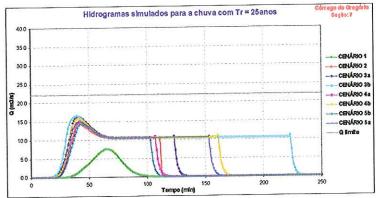


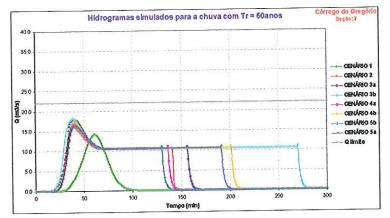


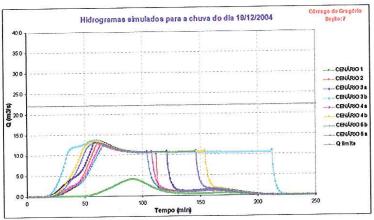
# Seção 07 (Área de drenagem $\sim 3.7 \text{ km}^2$ )

⇒ Simulações considerando os trechos canalizados.





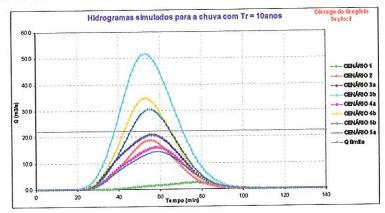


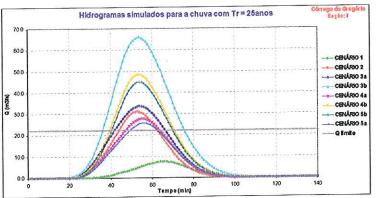


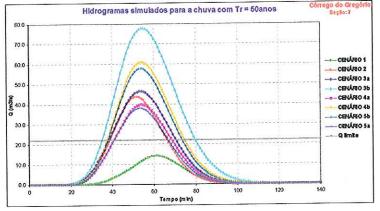
1

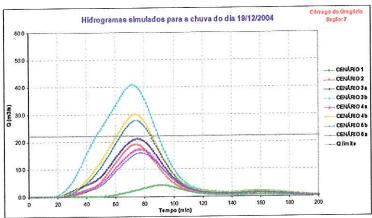
# Seção 07 (Área de drenagem $\sim 3.7 \text{ km}^2$ )

⇒ Simulações considerando os trechos descanalizados.





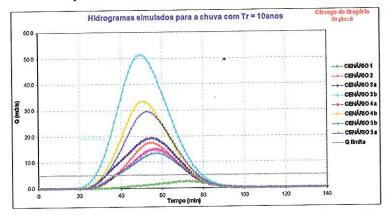


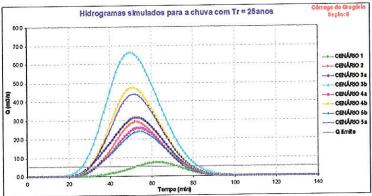


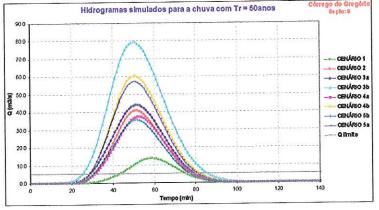


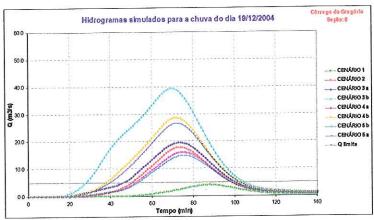
# Seção 08 (Área de drenagem ~3,5 km²)

⇒ A área a montante não possui trechos canalizados.









ANEXO F – Zoneamento da macro-zona urbana e perímetro urbano.

