

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PIBIC**

Relatório Final

**“Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o
Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana”**

**Bolsista: Rafael Lucio Esteves
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiando**

**São Carlos
Julho de 2003**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Planos Diretores.....	3
2.2. Percepção Ambiental e Participação Pública na Gestão dos Recursos Hídricos.....	5
2.3. Tempo de Concentração.....	7
2.3.1. Kirpich.....	8
2.3.2. Califórnia Culverts Practice.....	8
2.3.3. Dooge.....	9
2.3.4. SCS Lag Formula.....	9
2.3.5. Ajuste do t_c devido à urbanização para a expressão do SCS.....	10
2.4. Hidrograma Unitário.....	11
3. METODOLOGIA.....	12
3.1. Inventário de Bacias Urbanas.....	12
3.2. Estudo de Tempos de Concentração.....	14
3.3. Previsão de Vazões para Chuvas de Projeto.....	15
3.4. Estudo de Caso de Bacia Urbana: Córrego do Gregório.....	16
3.4.1. Monitoramento de Dados Hidrometeorológicos.....	16
3.4.2. Simulações Hidrológicas com o Programa IPHS1 v. 2.03.....	20
3.5. Entrevistas à Sociedade Civil.....	21
3.6. Disponibilidade de Dados para a Sociedade.....	21
4. RESULTADOS e DISCUSSÕES.....	23
4.1. Inventário de Bacias Urbanas.....	23
4.2. Estudo de Tempos de Concentração.....	23
4.3. Previsão de Vazões para Chuvas de Projeto.....	30
4.4. Monitoramento de Dados Hidrometeorológicos.....	30
4.5. Simulações Hidrológicas com o Programa IPHS1 v. 2.03.....	33
4.6. Comparação entre Vazões de Pico para Diferentes Metodologias.....	36
4.7. Vazões Específicas das Bacias.....	38
4.8. Entrevistas à Sociedade Civil.....	40

5. CONCLUSÕES.....	41
6. PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE.....	42
7. MATERIAL ENCAMINHADO PARA PUBLICAÇÃO.....	42
8. OUTRAS ATIVIDADES DE INTERESSE.....	43
9. APOIO.....	44
10. AGRADECIMENTOS.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXO A – Características Físicas das Bacias Hidrográficas.....	47
ANEXO B – Material Encaminhado para Publicação.....	48

1. INTRODUÇÃO

A intensa urbanização desordenada dos últimos anos tem agravado muito os problemas de drenagem urbana e de gerenciamento dos recursos hídricos. Um dos principais impactos tem ocorrido na forma de aumento da frequência e magnitude das inundações e deterioração ambiental.

Segundo PORTO *et al.* (1993), a elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU) é medida altamente recomendável e constitui estratégia essencial para a obtenção de boas soluções de drenagem urbana.

Este trabalho tem o intuito de abordar os problemas de drenagem urbana e auxiliar os Planos Diretores de Drenagem Urbana através do conceito de Bacia Escola. Os objetivos deste projeto atendem à pergunta: *Quais estratégias metodológicas podem-se avaliar no ciclo hidrológico através de Bacias Escola e que auxiliem o gerenciamento ambiental da drenagem urbana?*

A Bacia Escola é uma infra-estrutura de apoio, onde a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico na área de recursos hídricos urbanos abrem as possibilidades para a participação social (MENDIONDO, 2002). As componentes de ciência, tecnologia e inovação da Bacia Escola estão interligadas na figura 1.



Figura 1. Componentes de Ciência, Tecnologia e Inovação na Bacia Escola, e os seus principais derivados: monitoramento, planejamento e hidro-solidariedade (MENDIONDO, 2002).

Da interseção das componentes da figura 1, os princípios ligados à conservação da água no meio urbano são: (1) o *monitoramento* dos recursos hídricos urbanos, (2) a *hidro-solidariedade* induzida pelos setores da sociedade de trechos de jusante e de montante, e (3) o

planejamento que a sociedade realiza através de seu nível de participação nos Comitês de Bacias (MENDIONDO, 2002; BARROS, 2002). Colabora-se, então, com o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos e uma melhor qualidade de vida dos moradores.

A metodologia inicialmente proposta para o desenvolvimento do projeto de Bacia Escola estava dividida nas seguintes atividades: (1) inventário de bacias urbanas, (2) estudo de caso em Bacia Escola urbana, (3) estratégias de abordagem para comitês de bacias urbanas, e (4) disponibilidade de dados para a sociedade.

Seguindo essa metodologia, foi realizado um inventário das 14 bacias urbanas da cidade de São Carlos, levantando dados de características físicas e condições de urbanização das bacias. No item relativo a estudo de caso em Bacia Escola urbana, inicialmente foram feitos estudos, para as 14 bacias urbanas, de cálculo de tempo de concentração a partir de diversas fórmulas empíricas e previsão de vazões para chuvas de projeto. Posteriormente, aprofundou-se o estudo de caso para a bacia do Córrego do Gregório, com a instalação de aparelhos de monitoramento e a realização de simulações hidrológicas com o programa IPHS1 – V. 2.03. As estratégias de abordagem para comitês de bacias urbanas foram parcialmente avaliadas a partir de entrevistas à sociedade civil, analisadas a partir do material da tese de Doutorado da doutoranda Regina Mambeli Barros (BARROS *et al.*, 2002; BARROS *et al.*, 2003a). Finalmente, como forma de disponibilidade de dados para a sociedade, foi criado o site www.baciaescola.hpg.com.br, onde estão sendo constantemente atualizados os resultados dessa pesquisa.

Outras atividades importantes para o incentivo da vocação científica do bolsista e o estudo do gerenciamento ambiental foram sua participação em algumas reuniões de elaboração do Plano Diretor da Cidade de São Carlos e do COMDEMA (Conselho Municipal de Meio Ambiente) e o estágio de dois meses na estação meteorológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Planos Diretores

Segundo TUCCI (2002), o Plano de Drenagem Urbana deve ser desenvolvido com base num conjunto de informações relacionadas de acordo com o seguinte:

- cadastro da rede pluvial, bacias hidrográficas, uso e tipo de solo das bacias, entre outros dados físicos;
- planos: Plano de Desenvolvimento Urbano da cidade, Plano de Saneamento ou esgotamento sanitário, Plano de Controle dos Resíduos Sólidos e Plano Viário. São Planos que apresentam interface importante com a Drenagem Urbana. Quando os planos de Água e Saneamento e Resíduos Sólidos são desenvolvidos de forma integrada, as interfaces entre estes elementos devem ser destacadas;
- aspectos institucionais: legislação municipal relacionada com o Plano Diretor Urbano e meio ambiente; Legislação Estadual de Recursos Hídricos e Legislação Federal; Gestão da Drenagem dentro do município;
- dados hidrológicos: precipitação, vazão, sedimentos e qualidade da água do sistema de drenagem.

O ideal é que este conjunto de informações esteja informatizado e disponível aos interessados e institutos de pesquisa através de um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Os princípios a seguir caracterizados são essenciais para o bom desenvolvimento de um programa consistente de drenagem urbana.

1. Plano de Drenagem Urbana faz parte do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade. A drenagem faz parte da infra-estrutura urbana, portanto deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego.

2. O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, tanto num simples loteamento, como nas obras de macrodrenagem existentes no meio urbano. Isto se aplica a um simples aterro urbano, como à construção de pontes, rodovias, e à impermeabilização dos espaços urbanos. O princípio é de que cada usuário urbano não deve ampliar a cheia natural.

3. Plano de controle da drenagem urbana deve contemplar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. As medidas não podem reduzir o impacto de uma área em detrimento de outra, ou seja, os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos. Caso isso ocorra, devem-se prever medidas mitigadoras.

4. Plano deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais que escoam para o sistema fluvial externo à cidade.

5. Plano Diretor de Drenagem urbana, na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas. Depois que a bacia, ou parte dela, estiver ocupada, dificilmente o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia, portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente através do gerenciamento, as consequências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município.

6. O controle de enchentes é realizado através de medidas estruturais e não-estruturais, que, dificilmente, estão dissociadas. As medidas estruturais envolvem grande quantidade de recursos e resolvem somente problemas específicos e localizados. Isso não significa que esse tipo de medida seja totalmente descartável. A política de controle de enchentes, certamente, poderá chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde estas estão racionalmente integradas com outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não trechos isolados.

7. Valorização dos mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica, preservando, quando possível os canais naturais.

8. Integrar o planejamento setorial de drenagem urbana, esgotamento sanitário e resíduo sólido.

9. Os meios de implantação do controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, as Legislações Municipal / Estadual e o Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, as legislações controlam e o Manual orienta.

10. O controle permanente: o controle de enchentes é um processo permanente; não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção; é necessário estar atento às potenciais violações da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que:

- nenhum espaço de risco seja desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite sua invasão;
- a comunidade tenha uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes.

11. A educação: a educação dos engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos.

12. O custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana deve ser transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente à sua área impermeável, que é a geradora de volume adicional, com relação às condições naturais.

13. O conjunto destes princípios prioriza o controle do escoamento urbano na fonte distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre foi desenvolvido segundo duas estratégias básicas:

- Para as áreas não-ocupadas: desenvolvimento de medidas não estruturais relacionadas com a regulamentação da drenagem urbana e ocupação dos espaços de risco visando conter os impactos de futuros desenvolvimentos. Estas medidas buscam transferir o ônus do controle das alterações hidrológicas devido à urbanização para quem efetivamente produz as alterações.
- Para as áreas que estão ocupadas o Plano desenvolveu estudos específicos por macro bacias urbanas visando planejar as medidas necessárias para o controle dos impactos dentro destas bacias, sem que as mesmas transfiram para jusante os impactos já existentes. Neste planejamento foi priorizado o uso de armazenamento temporário através de detenções.

2.2. Percepção Ambiental e Participação Pública na Gestão dos Recursos Hídricos

Fundamentado no fato de que a água é um bem de domínio público e um recurso natural finito, tendo no consumo humano seu uso prioritário, foram criados, na esfera federal, o Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (SNGRH) e o Conselho Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (CNRH), e foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), pela lei nº 9.433/97.

Segundo MAGALHÃES JR. (2001) e BRASIL (2002d), os níveis hierárquicos que compõem o SNGRH são:

- Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH): apresenta-se como órgão hierárquico mais elevado;
- Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e Distrito Federal: equivalente ao CNRH para cada unidade da federação;
- Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH's): são as instâncias descentralizadas e participativas de discussão e deliberação, contando com a participação de diferentes setores da sociedade (usuários diversos, poder público e sociedade civil organizada), destinados a agir como fóruns de decisão no âmbito das Bacias Hidrográficas (BH's);
- Agências de Bacia Hidrográfica: organismos com atuação em nível de BH's, aos quais dão apoio técnico, funcionando como secretaria executiva dos CBH's aos quais estiver relacionada. Suas funções são, principalmente, operacionalizar a cobrança pelo uso das águas e elaborar os planos plurianuais de investimentos e atividades, que devem ser votados pelos CBH's;
- Organizações Cíveis de Recursos Hídricos: organizações de cidadãos com atuação nas respectivas BH's.

A participação da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos, através de sua participação nos CBH's, representa um avanço, porém a incorporação do caráter participativo no planejamento e na elaboração de propostas institucionais continua não aplicada concretamente. Devido à ação de grupos diversos com diferentes interesses que buscam negociar propostas comuns, a população em geral continua a participar de forma pontual e restrita, o que interfere no processo de democratização e na evolução da ação da sociedade civil na gestão ambiental, estabelecendo a manutenção da falta de hábito da população em geral em participar dos processos decisórios mesmo quando esta participação é assegurada legalmente (MIRANDA, 2001).

Segundo pesquisa realizada por LIMA (2003), uma parte significativa dos entrevistados não apresenta relações afetivas com o entorno, o que prejudica a iniciativa de participar de ações em prol da melhoria da qualidade ambiental. Da mesma forma, a maioria dos entrevistados mostrou desconhecer a existência e as funções do Comitê de Bacia Hidrográfica e, conseqüentemente, não participam de nenhuma instância das decisões relacionadas à Gestão dos Recursos Hídricos. De acordo com este autor, parte dos entrevistados informou

que a falta de promoção e de divulgação de atividades ou campanhas relacionadas ao ambiente está entre os principais motivos para pequena participação pública em tais atividades. Os entrevistados informaram ainda que a Educação Ambiental é um importante instrumento de sensibilização em busca da consciência ambiental da população, podendo levar a mudanças de atitude e à realização de ações em prol do ambiente, visando a preservação ou a conservação e buscando a melhoria da qualidade ambiental. Para que a Gestão Participativa da Água seja efetiva deve-se levar em consideração a opinião pública que pode ser apresentada através da presença de representantes da sociedade civil organizada nos fóruns adequados, como os Comitês de Bacia Hidrográfica, e a Educação Ambiental deve ser amplamente empregada na sensibilização da comunidade de forma direcionada e específica para cada público-alvo (escolares de diferentes níveis e comunidade em geral) ampliando a capacidade da população para participar da gestão pública dos bens naturais a que tem direito.

2.3. Tempo de Concentração

Segundo PORTO *et al.* (1993), tempo de concentração é o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante na bacia, deslocar-se até a seção principal.

É um dos parâmetros cruciais do Método Racional, e sua determinação está sujeita a incertezas e a imprecisões. Diversas fórmulas empíricas têm sido propostas para determinar esse parâmetro em função de características físicas da bacia, da sua ocupação e, eventualmente, da intensidade da chuva. Essas fórmulas têm origem em estudos experimentais de campo ou de laboratório e, portanto, devem ser aplicadas em condições que se aproximem daquelas para as quais foram determinadas e do tipo de escoamento que cada fórmula procura representar. Nesse aspecto distinguem-se três tipos de escoamento:

- escoamento em superfícies, constituído fundamentalmente por lâminas de água escoando sobre planos e prevalece em bacias muito pequenas. As velocidades são baixas devido às pequenas espessuras das lâminas e dependem da declividade e rugosidade da superfície e também da intensidade de chuva. Como a extensão dos escoamentos geralmente não é maior do que 50 a 100 metros as fórmulas que refletem este tipo de escoamento são aplicáveis a parques de estacionamento, aeroportos e bacias urbanas muito pequenas. Fórmulas desse tipo geralmente apresentam o valor de t_c em função dos fatores acima relacionados;
- escoamento em canais naturais, que prevalece em bacias de maior porte em que os canais são bem definidos. As velocidades são maiores que nos casos acima, pois os

canais conduzem a água de forma mais eficiente. Nessas bacias o valor de t_c depende menos da rugosidade da superfície da intensidade da chuva, pois o tempo em que o escoamento ocorre sobre a superfície é menor que no canal. Usualmente as fórmulas que representam esse tipo de escoamento apresentam o valor de t_c em função do comprimento do curso de água e de sua declividade, e

- escoamento em galerias e canais artificiais, que prevalece em bacias cujas condições naturais foram significativamente modificadas por obras de drenagem e as velocidades são evidentemente mais altas que nos casos anteriores. Além dos já citados, o valor de t_c é normalmente expresso também em função de parâmetros que refletem as alterações introduzidas tais como a parcela da bacia que conta com sistemas de drenagem ou a extensão dos cursos d'água canalizados.

Em uma bacia urbana normalmente estão presentes os três tipos de escoamentos com maior ou menor significado dependendo das características da bacia. A seguir são apresentadas algumas das fórmulas mais utilizadas para o cálculo do tempo de concentração.

Em todas as fórmulas, o significado dos termos é o seguinte:

t_c = tempo de concentração (em minutos)

A = área da bacia (em km^2)

L = comprimento do talvegue (em km)

S = declividade do talvegue (em m / m)

H = diferença entre as cotas da seção de saída e o ponto mais a montante da bacia (em m)

CN = número da curva (adimensional) (método da SCS)

2.3.1. Kirpich

$$t_c = 3,989 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (1)$$

Foi desenvolvida com dados de 7 pequenas bacias rurais do Tenesse com declividades variando de 3 a 10% e áreas de no máximo $0,5 \text{ km}^2$. Embora as informações que a fórmula necessita (L e S) sejam uma indicação de que ela reflete o escoamento em canais, o fato de ter sido desenvolvida para bacias tão pequenas é uma indicação que os parâmetros devem representar o escoamento em superfícies. Quando o valor de L é superior a 10 km a fórmula parece subestimar o valor de t_c .

2.3.2. Califórnia Culverts Practice

$$t_c = 57 \times L^{1,155} \times H^{-0,385} \quad (2)$$

Essa equação é uma modificação da anterior, substituindo-se $S = L / H$

2.3.3. Dooge

$$t_c = 21,88 \times A^{0,41} \times S^{-0,17} \quad (3)$$

Foi determinada com dados de 10 bacias rurais com áreas na faixa de 140 a 930 km². Seus parâmetros refletem o comportamento de bacias médias e escoamento predominante em canais.

2.3.4. SCS Lag Fórmula

$$t_c = 3,42 \times L^{0,8} (1000/CN - 9)^{0,7} \times S^{-0,5} \quad (4)$$

Foi desenvolvida em bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km² e reflete fundamentalmente o escoamento em superfícies. Para aplicação em bacias urbanas o SCS sugere procedimentos para ajuste em função da área impermeabilizada e da parcela dos canais que sofreram modificações. Essa fórmula superestima o valor de t_c em comparação com as expressões de Kirpich e Dooge.

O valor do CN pode ser obtido da tabela 1. Os tipos de solos identificados na tabela 1 são os seguintes:

Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.

Solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.

Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.

Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (TUCCI, 1993).

Tabela 1. Valores de *CN* para bacias urbanas e suburbanas. (TUCCI, 1993)

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivadas:	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios:	em más condições	68	79	86	89
	em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	cobertura ruim	45	66	77	83
	cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf cemitérios, boas condições					
com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
lotes de (m ²)	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
paralelepípedos		76	85	89	91
terra		72	82	87	89

2.3.5. Ajuste do t_c devido à urbanização para a expressão do SCS

O SCS propõe a seguinte fórmula para ajuste de t_c (McCUEN, 1982)

$$FA = 1 - PRCT(-6789 + 335CN - 0,4298CN^2 - 0,02185CN^3) 10^{-6} \quad (5)$$

Onde $PRCT$ é a porcentagem do comprimento do talvegue modificado ou então a porcentagem da bacia impermeável. Caso ocorram ambas as modificações, o fator é calculado duas vezes, uma vez para $PRCT = PLM$ (porcentagem do comprimento modificado) e outra para $PRCT = PI$ (porcentagem impermeabilizada da bacia). O fator de ajuste final, FA , é obtido pela multiplicação dos dois valores anteriormente calculados.

2.4. Hidrograma Unitário

Segundo TUCCI (1993), o hidrograma unitário (HU) é a resposta da bacia a uma precipitação de volume unitário de duração Δt . A situação mais freqüente, na prática, é o da inexistência de dados históricos. Os hidrogramas unitários sintéticos foram estabelecidos com base em dados de algumas bacias e são utilizados quando não existem dados que permitam estabelecer o HU.

Os métodos de determinação do HU baseiam-se na determinação do valor de algumas abscissas, como o tempo de pico e o tempo de base e as ordenadas como a vazão de pico. A regionalização destas variáveis com base em características físicas tem permitido estimar o HU para um local sem dados observados.

O Soil Conservation Service (SCS, 1957) apresentou um método para determinação do hidrograma unitário sintético em que o mesmo é considerado um triângulo (figura 2). A área do triângulo é igual ao volume precipitado Q , ou seja:

$$(q_p \cdot t_p') / 2 + (q_p \cdot t_e) / 2 = Q \quad \text{e} \quad q_p = 2.Q / (t_p' + t_e) \quad (6)$$

Sendo $t_e = H t_p'$, a equação acima fica:

$$q_p = 2.Q / (H + 1) t_p' \quad (7)$$

Para uma precipitação de 1 cm sobre a área A (km^2), t_p' (horas) a equação 7 fica:

$$q_p = 2,08 . A / t_p' \quad (8)$$

Os autores adotaram $H=1,67$ com base na observação de várias bacias. O tempo t_p' é o tempo contado do início da precipitação e é igual a:

$$t_p' = t_r / 2 + 0,6 t_c \quad (9)$$

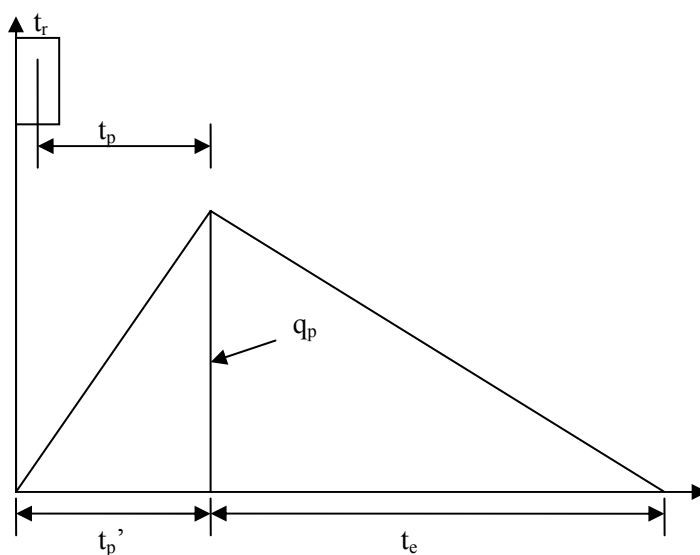


Figura 2. Hidrograma triangular do SCS.

3. METODOLOGIA

3.1. Inventário de Bacias Urbanas

Na cidade de São Carlos, existem 14 bacias urbanas que se localizam nas nascentes do Rio Monjolinho, afluente do Jacaré-Guaçu (figura 3).

As sub-bacias apresentadas na figura 2 são as seguintes:

1. Córrego Santa Maria Madalena
2. Córrego do Jockey Clube
3. Córrego da Federal
4. Córrego do Belvedere
5. Córrego Ponte de Tábua
6. Córrego do Alto Monjolinho
7. Córrego do Mineirinho
8. Córrego Paraíso
9. Córrego Tijuco Preto
10. Córrego do Gregório
11. Córrego do Botafogo
12. Córrego do Medeiros
13. Córrego da Água Quente
14. Córrego da Água Fria

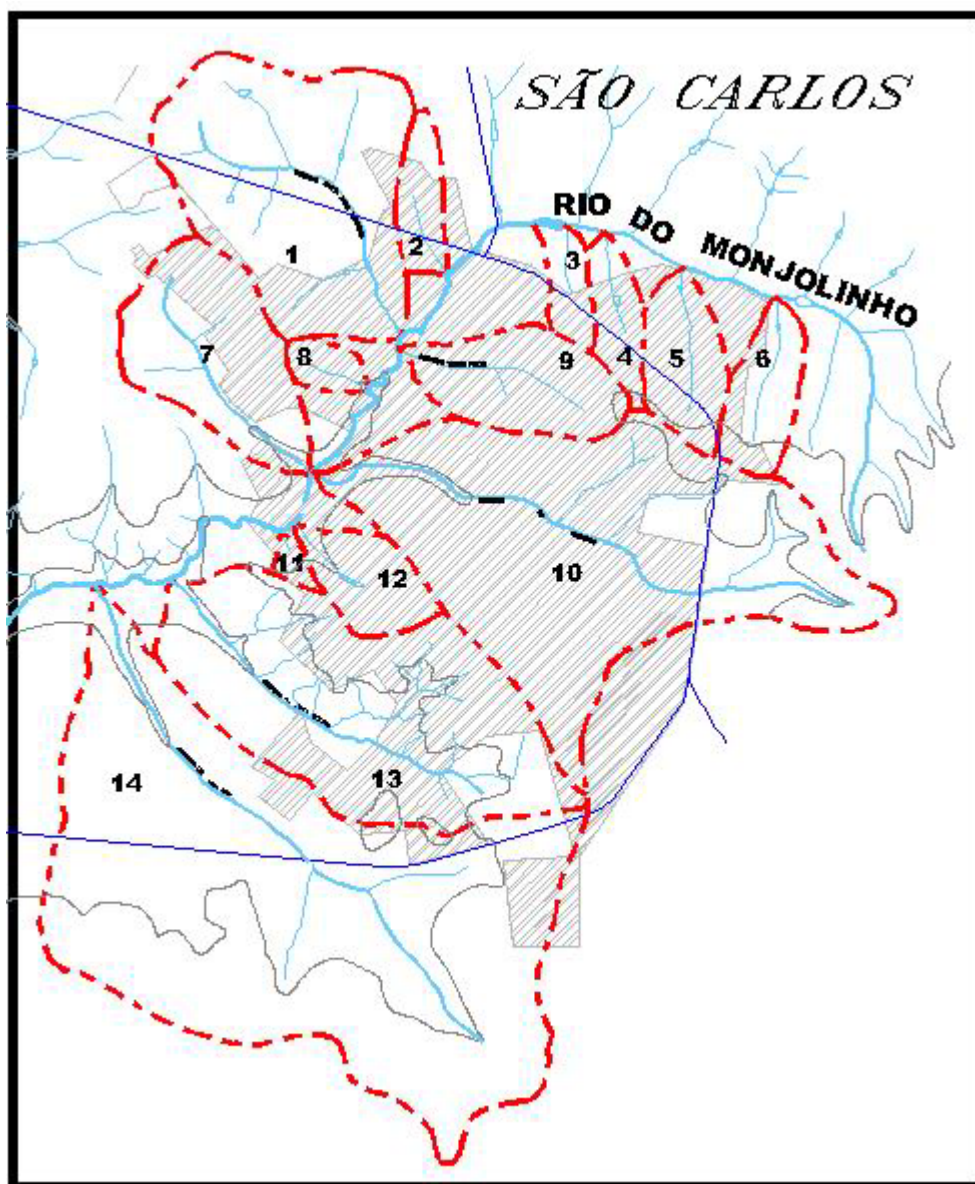


Figura 3. Bacias urbanas de São Carlos. Fonte: CDCC – USP/ SC (2002).

A partir de mapas digitalizados dessas bacias (arquivos de AutoCAD e imagens Bitmap), implementou-se um inventário com suas características físicas e condições de urbanização relevantes para a realização de estudos posteriores. Esses mapas foram obtidos com a colaboração do CDCC (Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP – São Carlos). As características das bacias presentes no inventário são: área de drenagem, perímetro, comprimento axial, largura média, coeficiente de compacidade, fator de forma, comprimento total dos cursos d'água, comprimento do curso d'água principal, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial, desnível topográfico máximo da bacia, declividade de álveo, porcentagem de área urbanizada e porcentagem de canal modificado.

3.2. Estudo de Tempos de Concentração

Para o cálculo de tempo de concentração nas 14 bacias urbanas, foram utilizadas as cinco fórmulas empíricas apresentadas anteriormente (item 2.3): (1) Kirpich, (2) Califórnia Culverts Practice, (3) Dooge, (4) SCS e (5) SCS com correção para a urbanização.

Os parâmetros utilizados para o cálculo do tempo de concentração para as expressões de Dooge, Kirpich e Califórnia Culverts Practice estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para o cálculo de t_c para as expressões de Dooge, Kirpich e Califórnia Culverts Practice

Bacia	Área	Comprimento Axial	Desnível Máximo	Declividade S_1	Declividade S_3
	km ²	km	m	m / m	m / m
Água Fria	29,64	9,847	158	0,0160	0,0130
Gregório	18,88	8,999	166	0,0184	0,0121
Água Quente	12,33	7,560	191	0,0253	0,0141
Sta. Ma. Madalena	11,25	5,381	74	0,0138	0,0086
Mineirinho	5,85	4,283	91	0,0212	0,0168
Tijuco Preto	3,86	3,537	113	0,0319	0,0224
Ponte de Tábua	2,58	2,544	70	0,0275	0,0182
Alto Monjolinho	2,03	2,602	82	0,0315	0,0280
Medeiros	1,95	2,359	93	0,0394	0,0277
Belvedere	1,42	2,549	87	0,0341	0,0277
Jockey Clube	1,13	1,859	63	0,0339	0,0282
Federal	0,99	2,195	65	0,0296	0,0261
Paraíso	0,71	1,473	64	0,0434	0,0306
Botafogo	0,30	1,144	67	0,0586	0,0550

Para as bacias estudadas foi adotado um solo tipo C. Portanto, conforme a tabela 1, para as áreas urbanizadas considerou-se $CN = 90$ (zonas residenciais com lotes de até 500 m²), e para os espaços abertos e condições de pré-urbanização considerou-se $CN = 70$ (bosques com boa cobertura). Para uma ocupação mista calculou-se a média ponderada adotando como fator de ponderação a área correspondente a cada valor de CN . Os parâmetros necessários para o cálculo do tempo de concentração para a expressão do SCS estão apresentados na tabela 3. O fator de ajuste (FA) do tempo de concentração devido à urbanização foi calculado conforme mostra a tabela 4.

Tabela 3. Parâmetros para o cálculo de t_c para a expressão do SCS.

Bacia	Comprimento Axial	Declividade S_1	Declividade S_3	Área Urbanizada		Espaços Abertos		CN Médio
	km	m/m	m/m	%	CN	%	CN	
Água Fria	9,847	0,0160	0,0130	5	90	95	70	71
Gregório	8,999	0,0184	0,0121	60	90	40	70	82
Água Quente	7,560	0,0253	0,0141	60	90	40	70	82
Sta. Ma. Madalena	5,381	0,0138	0,0086	20	90	80	70	74
Mineirinho	4,283	0,0212	0,0168	40	90	60	70	78
Tijuco Preto	3,537	0,0319	0,0224	100	90	0	70	90
Ponte de Tábua	2,544	0,0275	0,0182	70	90	30	70	84
Alto Monjolinho	2,602	0,0315	0,0280	20	90	80	70	74
Medeiros	2,359	0,0394	0,0277	100	90	0	70	90
Belvedere	2,549	0,0341	0,0277	50	90	50	70	80
Jockey Clube	1,859	0,0339	0,0282	90	90	10	70	88
Federal	2,195	0,0296	0,0261	60	90	40	70	82
Paraíso	1,473	0,0434	0,0306	80	90	20	70	86
Botafogo	1,144	0,0586	0,0550	80	90	20	70	86

Tabela 4. Cálculo do fator de ajuste(FA) devido à urbanização para a expressão do SCS.

Bacia	% Área Urbanizada	% Canal Modificado	FA_i	FA_c	FA
Água Fria	5	0	0,96	1,00	0,96
Gregório	60	60	0,66	0,66	0,43
Água Quente	60	20	0,66	0,89	0,58
Sta. Ma. Madalena	20	10	0,86	0,93	0,81
Mineirinho	40	0	0,75	1,00	0,75
Tijuco Preto	100	100	0,60	0,60	0,37
Ponte de Tábua	70	10	0,62	0,95	0,59
Alto Monjolinho	20	0	0,86	1,00	0,86
Medeiros	100	100	0,60	0,60	0,37
Belvedere	50	0	0,70	1,00	0,70
Jockey Clube	90	40	0,60	0,82	0,49
Federal	60	0	0,66	1,00	0,66
Paraíso	80	0	0,60	1,00	0,60
Botafogo	80	100	0,60	0,51	0,31

3.3. Previsão de Vazões para Chuvas de Projeto

As chuvas de projeto foram obtidas da I-D-F de São Carlos (RIGHETTO, 1998):

$$I = 1519 \cdot T^{0,236} / (16 + d)^{0,935} \quad (10)$$

Os riscos analisados foram os usuais em drenagem: 5, 10 e 25 anos. Foi feita uma análise para a condição atual de urbanização e uma para a condição de pré-ocupação,

adotando $CN = 70$. Para cada bacia, a duração da chuva foi adotada igual ao seu tempo de concentração calculado pela fórmula de Kirpich (Eq. 1) com a declividade S_1 . Os intervalos de divisão da precipitação foram de 10 minutos para bacias com t_c acima de 50 min, 5 minutos para bacias com t_c entre 20 e 50 min e 3 minutos para as bacias com t_c inferior a 20 min. A reordenação temporal adotada utilizou o método do US Bureau of Reclamation (TUCCI, 1993), que utiliza a seguinte ordem: 6 4 3 1 2 5, onde 1 representa o maior bastão de chuva, 2 representa o segundo, e assim sucessivamente. A figura 4 mostra a precipitação de projeto adotada para o Córrego do Gregório para as tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

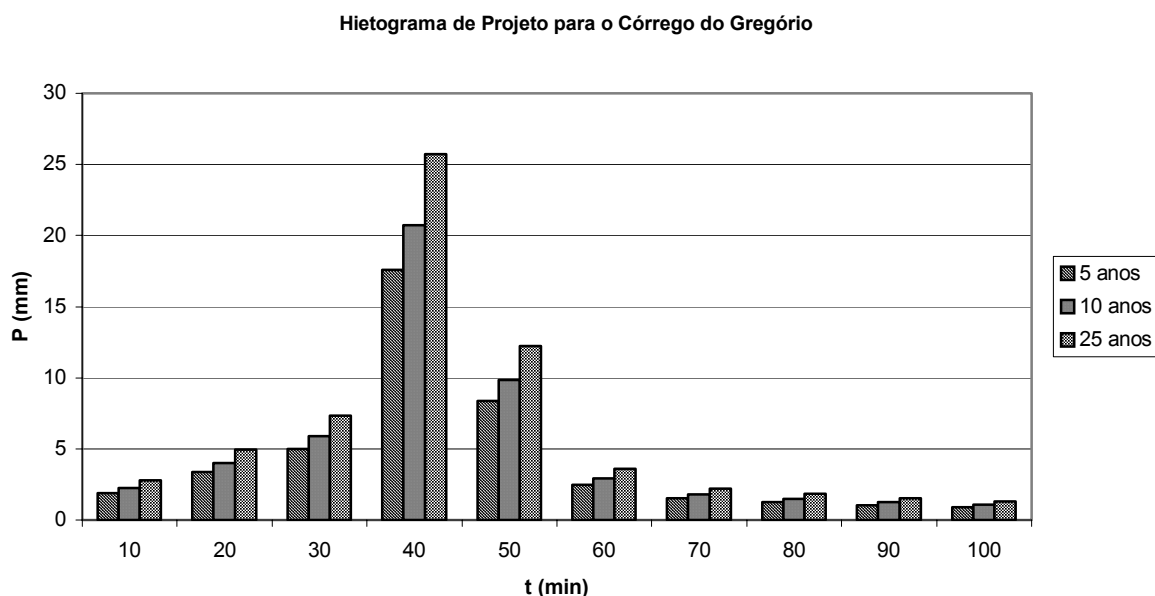


Figura 4. Hietogramas de projeto para o Córrego do Gregório para TR = 5, 10 e 25 anos.

Obtida a precipitação de projeto, aplicou-se o método da convolução para o hidrograma unitário do SCS (hidrograma triangular), resultando no hidrograma esperado para cada evento.

3.4. Estudo de Caso de Bacia Urbana: Córrego do Gregório

3.4.1. Monitoramento de Dados Hidrometeorológicos

Com a colaboração do projeto no. 38 do edital CT-Hidro GURH 03/2002 – FINEP – FNDTC “Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP”, até o presente momento, foram instaladas quatro plataformas de coletas de dados na bacia urbana do Córrego do Gregório: duas estações climatológicas, uma estação automática e outra convencional para o registro do nível d’água (figura 5).



Figura 5. Localização das plataformas de coleta de dados no Córrego do Gregório.

Nas estações climatológicas, sendo uma torre e a outra em tripé, estão sendo coletados os seguintes dados: pluviometria, temperatura do solo, velocidade e direção do vento, temperatura e umidade do ar e sensores de radiação solar global. O sistema de alimentação é composto por 1 bateria de 12 V e 1 painel solar. Os sensores são controlados por *dataloggers* 21X da Campbell Scientific (figura 6).



Figura 6. Datalogger 21X

A estação automática de registro de nível d'água e chuva está equipada com um *datalogger* CR10X da Campbell Scientific e também é alimentada por 1 bateria 12V e 1 painel solar (figuras 7 e 8). Na estação fluviométrica convencional foi instalado um linígrafo de bóia (figura 9).

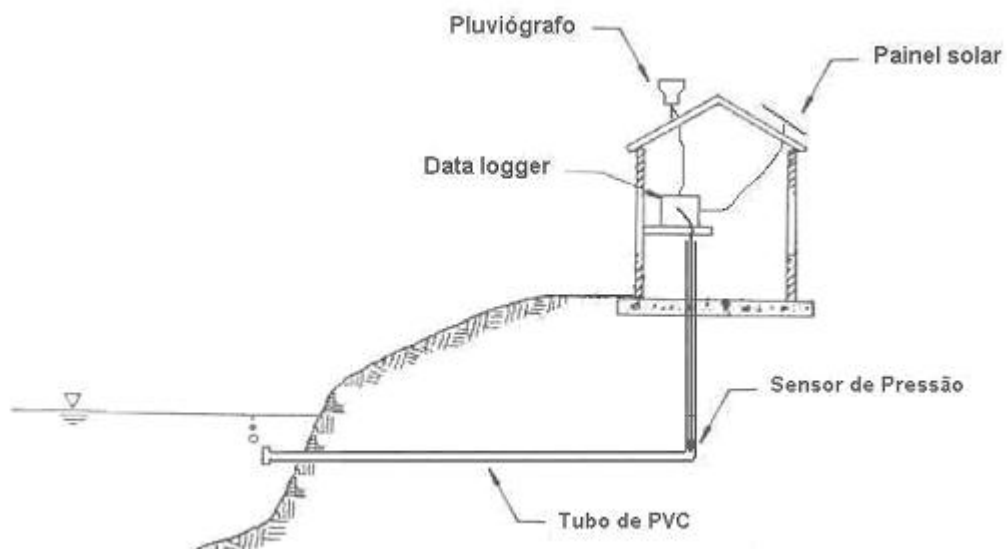


Figura 7. Esquema do linígrafo de pressão para medição do nível d'água no Córrego do Gregório.



Figura 8. Instalação do linígrafo de pressão para medição do nível d'água no Córrego do Gregório.

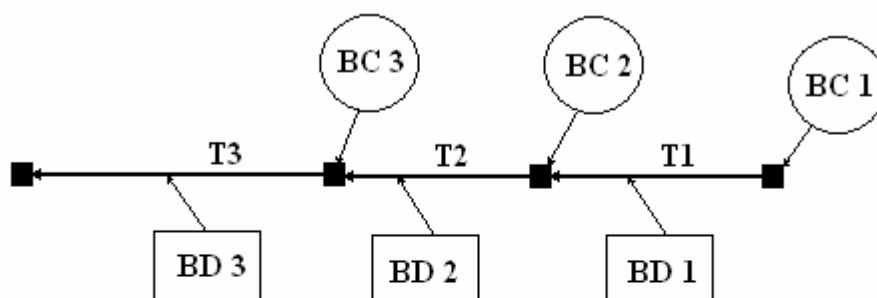


Figura 9. Linígrafo de bóia.

3.4.2. Simulações Hidrológicas com o Programa IPHS1 v. 2.03

Para fazer uma previsão de vazões mais acurada no Córrego do Gregório foi utilizado o pacote “Modelos Hidrológicos – IPHS1 – V. 2.03” do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS).

Fundamentado em metodologia do trabalho de Doutorado de Regina Mambeli Barros (BARROS *et al.* 2003b), porém em discretização mais simples, a bacia do Córrego do Gregório foi discretizada em três sub-bacias concentradas, três sub-bacias distribuídas e três trechos d'água (figura 10).



Legenda:

BC: Bacia Concentrada

BD: Bacia Distribuída

T: Trecho d'água

Figura 10. Discretização da bacia do Córrego do Gregório

Para a transformação chuva-vazão nas sub-bacias optou-se pela separação do escoamento do método SCS e propagação do escoamento superficial pelo hidrograma triangular do SCS. O tempo de concentração foi calculado pela fórmula de Kirpich. Nos trechos d'água, o método de propagação do escoamento escolhido foi o Muskingum-Cunge Linear. Foi adotada uma chuva de projeto de 100 mm com tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos, em intervalos de 10 min. A reordenação da chuva foi feita pelo método dos blocos alternados, com picos a 50% e 25%. Foram feitas simulações para as condições de pré-urbanização e para as condições atuais. Os dados de entrada para o programa estão apresentados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Parâmetros de entrada para as sub-bacias.

Sub-bacia	Área (km ²)	Comprimento do rio principal (km)	Desnível (m)	Tc (min)	CN (pré urbanização)	CN (atual)
BC 1	2,96	2,33	96	26	70	70
BC 2	1,28	2,14	83	25	70	75
BC 3	1,49	2,17	80	26	70	86
BD 1	2,62	1,05	55	13	70	80
BD 2	0,82	0,99	52	12	70	86
BD 3	9,70	4,38	73	60	70	86

Tabela 6. Parâmetros de entrada para os trechos d'água.

Trecho d'água	Comprimento (m)	Cota de fundo de montante (m)	Cota de fundo de jusante (m)	Altura do canal (m)	Largura do canal (m)	Rugosidade
T1	1964	856	825	3	4	0,025
T2	868	825	817	3	4	0,025
T3 *	3835	817	779	4	6	0,014

* para a condição de pré-urbanização adotou-se canal de 3 x 4m e rugosidade 0,025

3.5. Entrevistas à Sociedade Civil

Em auxílio ao plano de trabalho da doutoranda Regina Mambeli Barros, foram realizadas entrevistas à sociedade civil, de acordo com metodologia proposta, através do desenvolvimento e meio de aplicação de questionário-padrão, e analisada por esta aluna de Doutorado, em três etapas distintas, na bacia do Córrego do Gregório, relacionando “Gestão de Recursos Hídricos” e “Drenagem Urbana”. A metodologia e os resultados detalhados dessas entrevistas podem ser consultados em BARROS *et al.* (2002) e BARROS *et al.* (2003a).

3.6. Disponibilidade de Dados para a Sociedade

Com o objetivo de divulgar o projeto e facilitar o acesso a informações relativas ao mesmo, foi criado um site na Internet, no endereço www.baciaescola.hpg.com.br. A construção da página foi feita com o auxílio do programa NetObjects Fusion 2.0.2

(www.netobjects.com), e a hospedagem e armazenagem gratuita da página foi feita pelo website hpG (www.hpg.ig.com.br), de titularidade da empresa Internet Group do Brasil Ltda. Na Figura 11 é apresentada a página inicial do site.

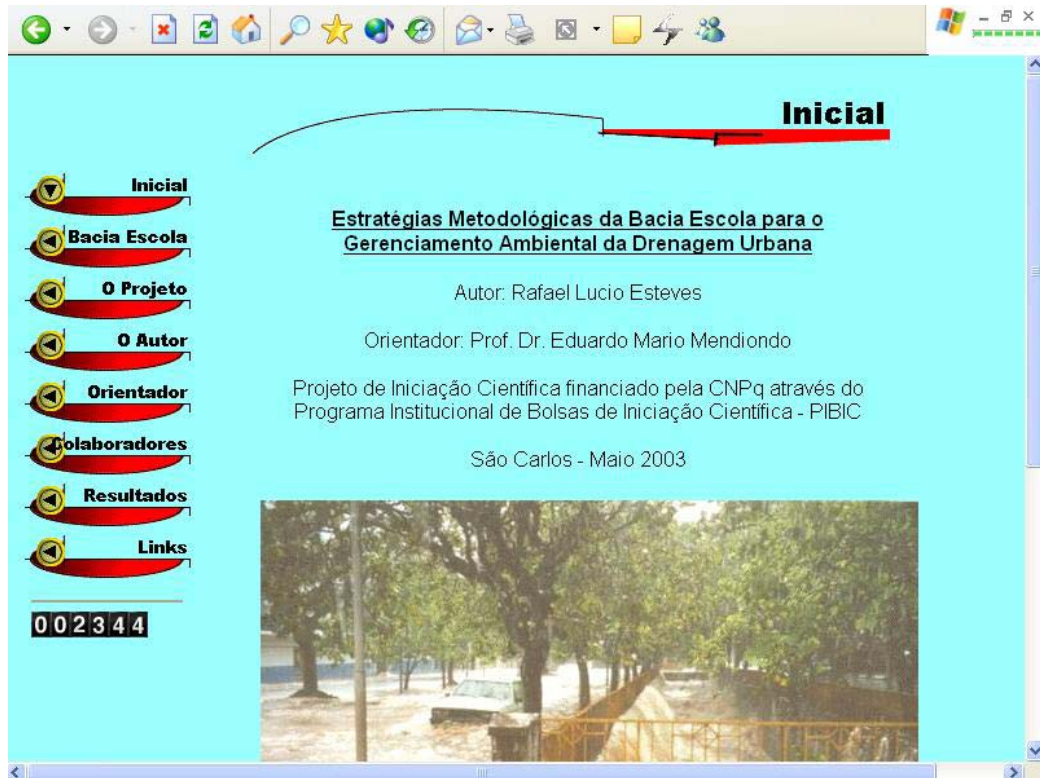


Figura 11. Página inicial do site www.baciaescola.hpg.com.br.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Inventário de Bacias Urbanas

A tabela com o resumo das características físicas e de urbanização das 14 bacias de São Carlos está apresentada no anexo A. No site www.baciaescola.hpg.com.br, esse inventário está mais detalhado, com imagens de cada bacia e suas respectivas características.

4.2. Estudo de Tempos de Concentração

Os resultados dos tempos de concentração obtidos estão apresentados nas tabela 7 e 8.

Tabela 7. Tempos de concentração para as expressões de Dooge, Kirpich e Califórnia Culverts Practice.

Bacia	T_c - Dooge (min)		T_c - Kirpich (min)		T_c - Califórnia (min)
	S_1	S_3	S_1	S_3	
Água Fria	177	184	114	123	114
Gregório	144	155	101	119	101
Água Quente	115	127	78	98	78
Sta. Ma. Madalena	122	132	76	91	76
Mineirinho	87	90	54	59	54
Tijuco Preto	68	73	40	46	40
Ponte de Tábua	59	64	33	38	33
Alto Monjolinho	53	54	32	33	32
Medeiros	50	53	27	31	27
Belvedere	45	47	30	33	30
Jockey Clube	41	42	24	25	24
Federal	40	41	28	30	28
Paraíso	33	35	18	21	18
Botafogo	22	22	13	14	13

Tabela 8. Tempos de concentração para a expressão do SCS.

Bacia	T_c Pré Urbanização (min)		T_c Pós Urbanização (min)		T_c Pós Urbanização Ajustado (min)	
	S_1	S_3	S_1	S_3	S_1	S_3
Água Fria	540	599	525	583	507	562
Gregório	468	579	329	407	141	175
Água Quente	348	466	245	328	142	190
Sta. Ma. Madalena	360	454	322	406	259	327
Mineirinho	241	271	192	216	143	161
Tijuco Preto	169	201	89	106	32	39
Ponte de Tábua	140	172	92	113	54	67
Alto Monjolinho	133	141	119	126	103	109
Medeiros	110	131	58	69	21	25
Belvedere	126	139	94	104	65	73
Jockey Clube	98	107	56	61	27	30
Federal	120	127	84	90	55	59
Paraíso	72	86	44	52	27	32
Botafogo	50	52	31	32	9	10

Uma primeira observação que pode ser feita é de que há uma tendência de aumento do tc à medida que se aumentam a área total e o comprimento da bacia. Analogamente, quando se aumentam as porcentagens da área urbanizada e do canal modificado, o tempo de concentração da bacia diminui. Esse comportamento pode ser parcialmente explicado pois, quanto maior a área e o comprimento da bacia, maior deve ser o tempo que a água leva para percorrer desde o ponto mais distante até a seção principal. Porém, quanto maior a porcentagem de urbanização da bacia, mais rápido será o escoamento e, portanto, menor o tempo de concentração.

Analisando as fórmulas utilizadas, os valores mais baixos foram obtidos com as expressões de Kirpich e Califórnia Culverts Practice. Quando se utilizou a declividade S_1 os dois valores foram idênticos, o que era de se esperar já que a expressão da Califórnia equivale à de Kirpich, substituindo S por H/L , que é o próprio valor da declividade S_1 . Utilizando o valor da declividade S_3 para a expressão de Kirpich, esta resultou em valores de tc um pouco maiores, já que as declividades S_3 são menores que as S_1 , conforme pode ser observado na tabela 2.

A expressão de Dooge resultou em valores cerca de 60% maiores do que os obtidos pelas duas expressões anteriores. Já a expressão do SCS, sem o ajuste para a urbanização, superestimou muito o valor do tc , chegando a resultados em média 3 vezes maiores que os valores das expressões de Kirpich. Essas observações estão ilustradas na figura 12, onde são

apresentados os gráficos dos tempos de concentração das 14 bacias, calculados pelos quatro métodos, utilizando a declividade S_3 e sem o ajuste do SCS.

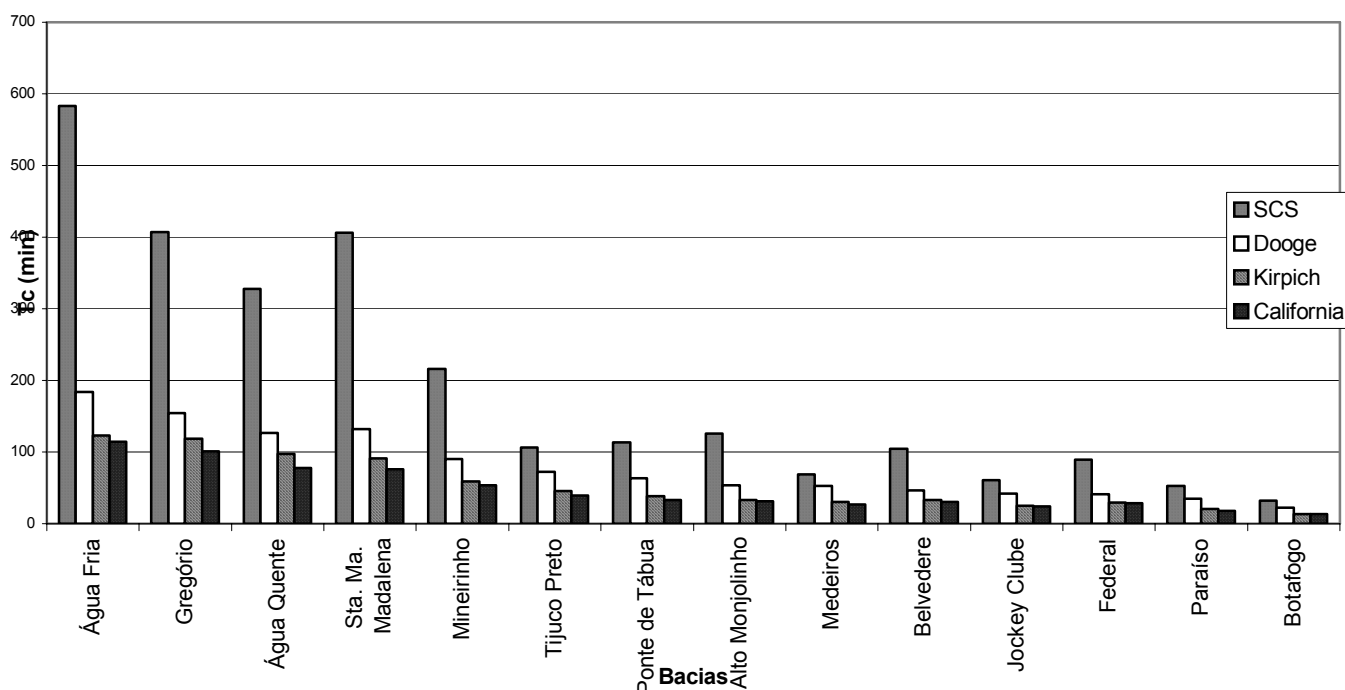


Figura 12. Tempos de concentração pelos métodos do SCS sem ajuste, Dooge, Kirpich e Califórnia, para declividade S_3 .

Analisando os valores obtidos pelo método do ajuste do SCS devido à urbanização, podemos verificar que são muito próximos aos obtidos pelo método de Kirpich, para as bacias efetivamente urbanizadas. Em cinco bacias, o t_c pelo método do SCS foi menor que o método de Dooge, as quais foram: Tijuco Preto, Medeiros, Jockey Clube, Paraíso e Botafogo. Todas essas bacias têm área urbanizada acima de 80%. Isso pode ser observado na figura 13.

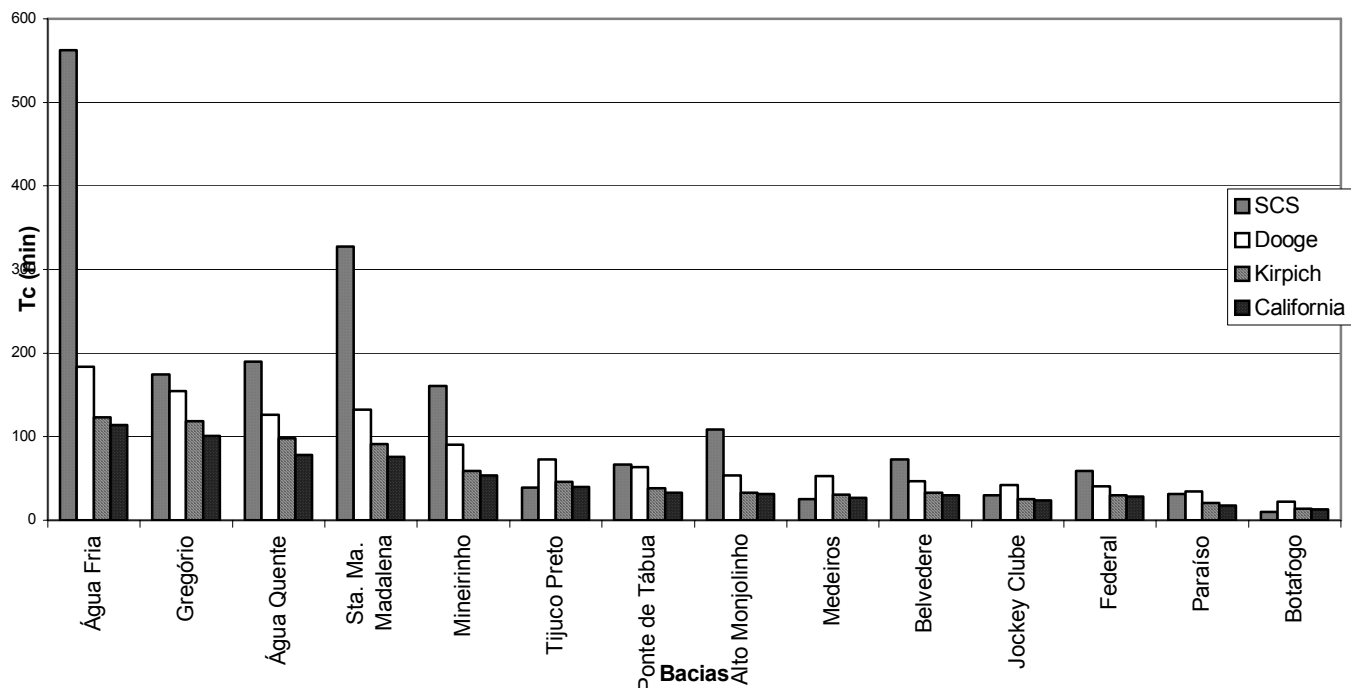


Figura 13. Tempos de concentração pelos métodos do SCS com ajuste, Dooge, Kirpich e Califórnia, para declividade S_3 .

Outra análise importante a ser discutida é a comparação da velocidade média de escoamento calculada a partir dos tempos de concentração encontrados (tabela 9) e as velocidades médias recomendadas por TUCCI (1993) apresentadas na tabela 10.

Tabela 9. Velocidades médias de escoamento para os tempos de concentração pelos métodos do SCS com ajuste, Dooge, Kirpich e Califórnia, para declividade S_3 .

Bacia	L_A	SCS		Dooge		Kirpich		Califórnia	
	(m)	t_c (min)	V(m/s)	t_c (min)	V(m/s)	t_c (min)	V(m/s)	t_c (min)	V(m/s)
Água Fria	9847	562	0,29	184	0,89	123	1,33	114	1,44
Gregório	8999	175	0,86	155	0,97	119	1,26	101	1,49
Água Quente	7560	190	0,66	127	1,00	98	1,29	78	1,61
Sta. Ma. Madalena	5381	327	0,27	132	0,68	91	0,99	76	1,18
Mineirinho	4283	161	0,44	90	0,79	59	1,21	54	1,33
Tijuco Preto	3537	39	1,52	73	0,81	46	1,29	40	1,48
Ponte de Tábua	2544	67	0,64	64	0,66	38	1,11	33	1,30
Alto Monjolinho	2602	109	0,40	54	0,81	33	1,31	32	1,38
Medeiros	2359	25	1,56	53	0,74	31	1,28	27	1,47
Belvedere	2549	73	0,58	47	0,91	33	1,30	30	1,41
Jockey Clube	1859	30	1,03	42	0,73	25	1,22	24	1,31
Federal	2195	59	0,62	41	0,90	30	1,23	28	1,29
Paraíso	1473	32	0,77	35	0,71	21	1,19	18	1,37
Botafogo	1144	10	1,95	22	0,87	14	1,41	13	1,45

Tabela 10. Velocidades médias para cálculo de t_c em m/s (TUCCI, 1993)

Descrição do Escoamento	Declividade em %	
	0-3	4-7
Em superfície		
florestas	0 - 0,5	0,5 - 0,8
pastos	0 - 0,8	0,8 - 1,1
áreas cultivadas	0 - 0,9	0,9 - 1,4
pavimentos	0 - 2,6	2,6 - 4,0
Em canais		
mal definidos	0 - 0,6	0,6 - 1,2
bem definidos	calcular por Manning	

Podemos ver na tabela 9 que as velocidades médias de escoamento para os métodos de Kirpich e Califórnia são, em média, de 1,3 m/s, que é um valor alto para bacias pouco urbanizadas, que têm escoamento em canais mal definidos ou em superfícies rugosas. Portanto, para esses casos é mais razoável a utilização do método de Dooge, que resultou numa velocidade média em torno de 0,8 m/s.

Já o método do SCS apresentou uma grande variabilidade quanto às velocidades, portanto convém analisá-las juntamente ao grau de urbanização da bacia. A partir das porcentagens de área urbanizada e de canal modificado (tabela 4) dividiu-se as bacias em dois grupos: (1) Bacias mais urbanizadas: Gregório, Tijuco Preto, Medeiros, Jockey Clube e Botafogo; (2) Bacias menos urbanizadas: Sta. Maria Madalena, Federal, Belvedere, Ponte de

Tábua, Alto Monjolinho, Mineirinho, Paraíso, Água Quente e Água Fria. Dessa forma, o método do SCS com ajuste resultou numa velocidade média em torno de 0,5 m/s para as bacias menos urbanizadas e de 1,4 m/s para as bacias mais urbanizadas. O valor de 0,5 m/s pode ser considerado um pouco baixo para bacias urbanas, mesmo que pouco urbanizadas, enquanto o valor de 1,4 para as bacias mais urbanizadas condiz mais com a realidade.

Portanto, para as bacias menos urbanizadas o método de Dooge apresentou melhores resultados, e para as bacias mais urbanizadas os métodos do SCS com ajuste, Kirpich e Califórnia foram mais realistas. Entretanto, neste último caso, vale ressaltar que os bons resultados dos métodos de Kirpich e Califórnia devem ser pesquisados novamente, por exemplo, através de sua adequação física e contrastada com visitas “*in situ*” às mencionadas bacias, já que suas expressões foram desenvolvidas para pequenas bacias rurais e não consideram nenhum efeito da urbanização.

Analizando a variação dos tempos de concentração e das velocidades médias de escoamento (figuras 14 e 15), pode-se observar que os quatro métodos (Kirpich, Califórnia, Dooge e SCS) apresentam comportamentos mais próximos para as bacias menores. Para as bacias de até 5 km², a variação do tempo de concentração ficou abaixo dos 100% e a da velocidade média não ultrapassou 80%, com exceção de uma única bacia, a do Alto Monjolinho.

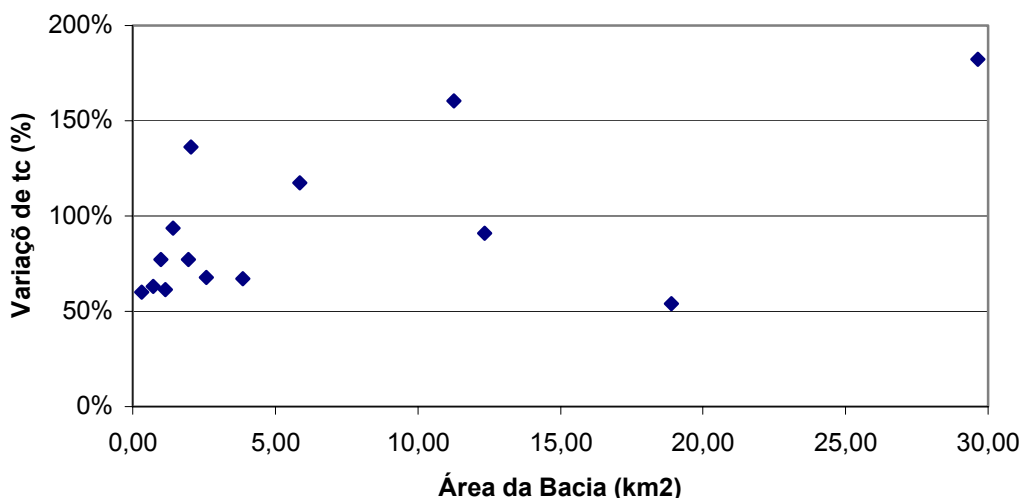


Figura 14. Variação do tempo de concentração em função da área da bacia, para os métodos de Dooge, Kirpich, Califórnia e SCS com ajuste.

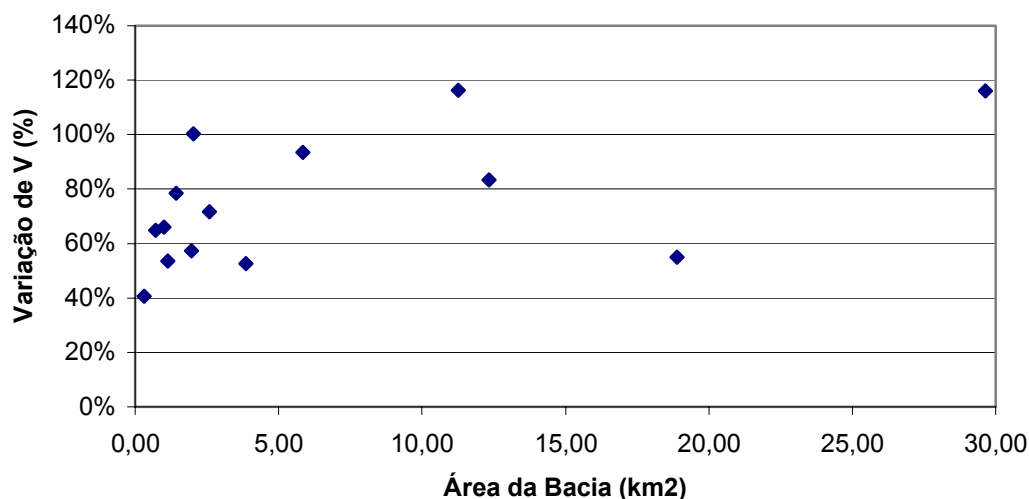


Figura 15. Variação da velocidade média de escoamento em função da área da bacia, para os métodos de Dooge, Kirpich, Califórnia e SCS com ajuste.

É importante lembrar que os resultados obtidos não estão livres das incertezas dos métodos utilizados. Por exemplo, as porcentagens de área urbanizada e de comprimento do canal modificado foram estimados a partir de imagens digitalizadas, onde não era possível determinar o uso de solo na micro-escala ou escala de lote. Dessa forma, áreas consideradas urbanizadas podem ainda conter grandes porcentagens de áreas permeáveis como áreas verdes. Para solucionar esse problema são necessárias visitas a campo e/ou análise de imagens aéreas ou de satélites para a verificação das estimativas utilizadas para o SCS.

Além disso, a fórmula de correção do SCS é uma fórmula empírica. Na bibliografia consultada não foram encontradas informações a respeito do tipo de bacia para a qual essa fórmula foi desenvolvida, e, portanto, é possível que a correção não seja adequada para as bacias analisadas na pesquisa em questão.

Outra incerteza está contida na declividade adotada, que é a declividade do canal e não do terreno. Como o escoamento se processa tanto sobre a superfície quanto dentro do canal, a simplificação adotada pode resultar em diferenças significativas no tempo de concentração.

Diante de todas essas incertezas, a chave para verificar a validade e consistência dos valores obtidos com a pesquisa está na experimentação. É essencial confrontar os dados calculados com os dados reais, obtidos do monitoramento da bacia.

4.3. Previsão de Vazões para Chuvas de Projeto

Com a metodologia aplicada para a previsão de vazões, obtiveram-se as seguintes vazões de pico para as bacias urbanas de São Carlos (tabela 11):

Tabela 11. Vazões de pico nas bacias urbanas de São Carlos para riscos de 5, 10 e 25 anos.

Bacia	Q _{pico} (m ³ /s)					
	5 anos		10 anos		25 anos	
	Pré-urbanização	Condição atual	Pré-urbanização	Condição atual	Pré-urbanização	Condição atual
Água Fria	15,19	17,18	26,37	29,16	49,26	53,22
Gregório	10,58	35,50	18,38	50,33	34,29	76,62
Água Quente	7,64	27,01	13,61	38,66	25,67	59,44
Sta. Ma. Madalena	7,13	11,59	12,65	18,80	24,08	32,91
Mineirinho	4,00	10,60	7,42	16,16	14,48	26,50
Tijuco Preto	2,04	21,89	4,22	28,97	8,98	41,16
Ponte de Tábua	1,28	9,15	2,79	13,20	6,27	20,45
Alto Monjolinho	1,02	2,15	2,26	3,92	5,06	7,52
Medeiros	0,82	13,26	2,03	17,68	4,81	25,16
Belvedere	0,57	3,13	1,36	4,97	3,20	8,46
Jockey Clube	0,53	6,83	1,29	9,44	2,99	13,96
Federal	0,42	2,96	1,01	4,49	2,40	7,30
Paraíso	0,05	2,63	0,27	3,85	1,00	6,03
Botafogo	0,03	1,40	0,16	2,06	0,52	3,24

Como se pode observar na tabela 11, o efeito da urbanização causa um grande aumento na vazão de pico, além de aumentar o volume escoado superficialmente. Para as bacias menores, a diferença entre a vazão de pré-urbanização e a vazão atual foi consideravelmente maior, devido à metodologia adotada considerar a duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia. Dessa forma, as perdas de chuva foram mais significativas para essas bacias, resultando numa chuva efetiva de pouca intensidade.

4.4. Monitoramento de Dados Hidrometeorológicos

Foram registrados eventos de precipitação e nível d'água a partir do mês de abril de 2003, sendo essas informações coletadas através de equipamentos automático e convencional, respectivamente.

Os linigramas e hietogramas mostrados nas figuras 16 e 17 representam os eventos chuvosos ocorridos nos dias 23 de maio e 8 de junho deste ano, respectivamente; a variação do nível d'água foi obtida pela interpretação dos dados registrados pelo linígrafo

convencional instalado no cruzamento da rua Manuel Antônio de Matos e Av. Comendador Alfredo Maffei.

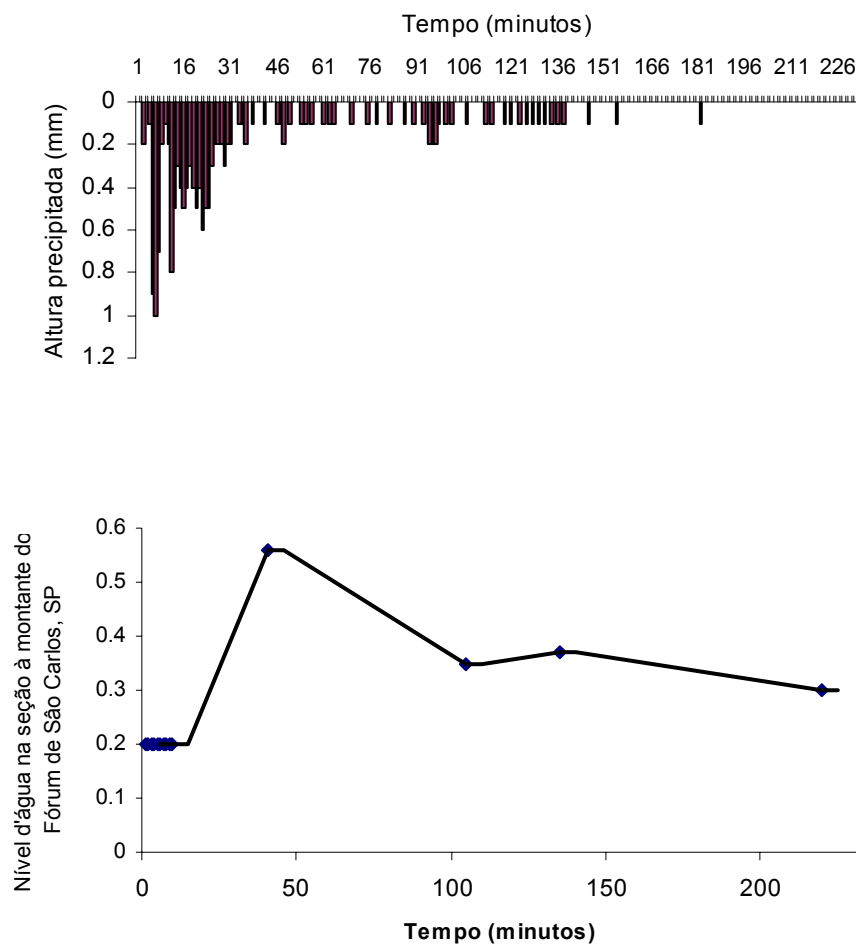


Figura 16 – Evento chuvoso ocorrido em 23 de maio de 2003. Início: 14:20 h; total precipitado igual a 16 mm.

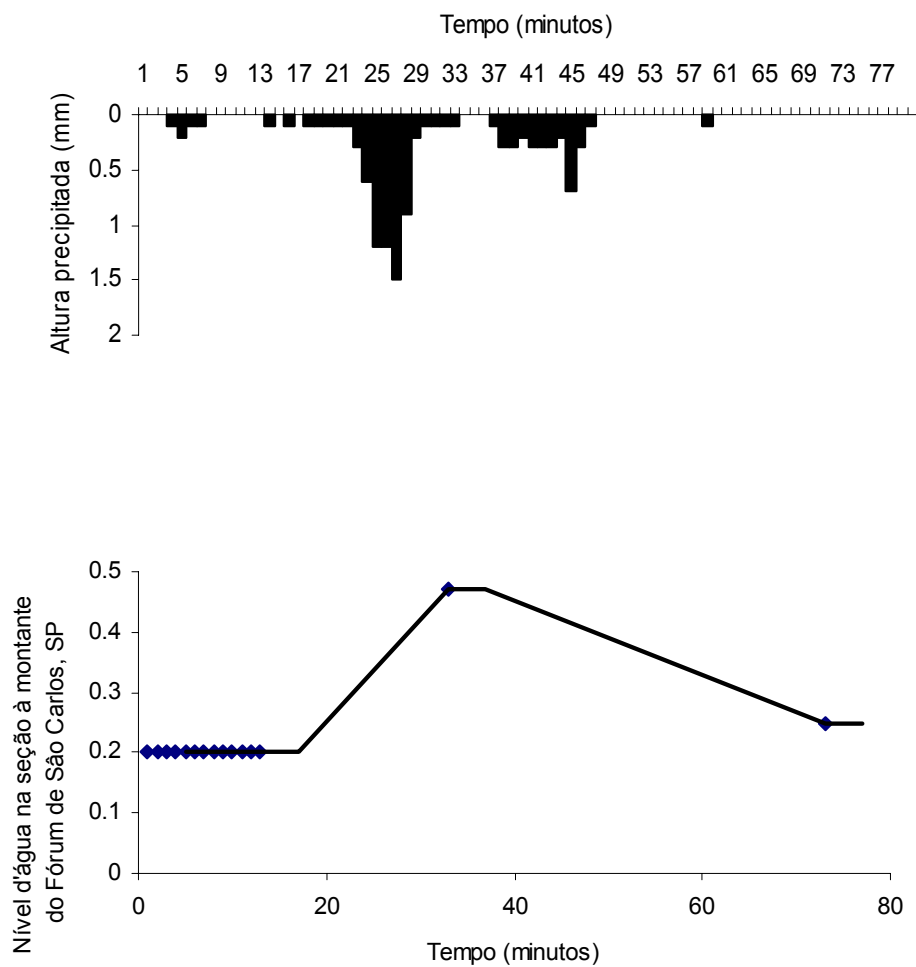


Figura 17 - Evento chuvoso ocorrido em 8 de junho de 2003. Início: 15:30 h; total precipitado 10.7 mm.

A figura 18 mostra um dos linigramas registrados pelo linígrafo convencional a partir de 8 de abril de 2003.

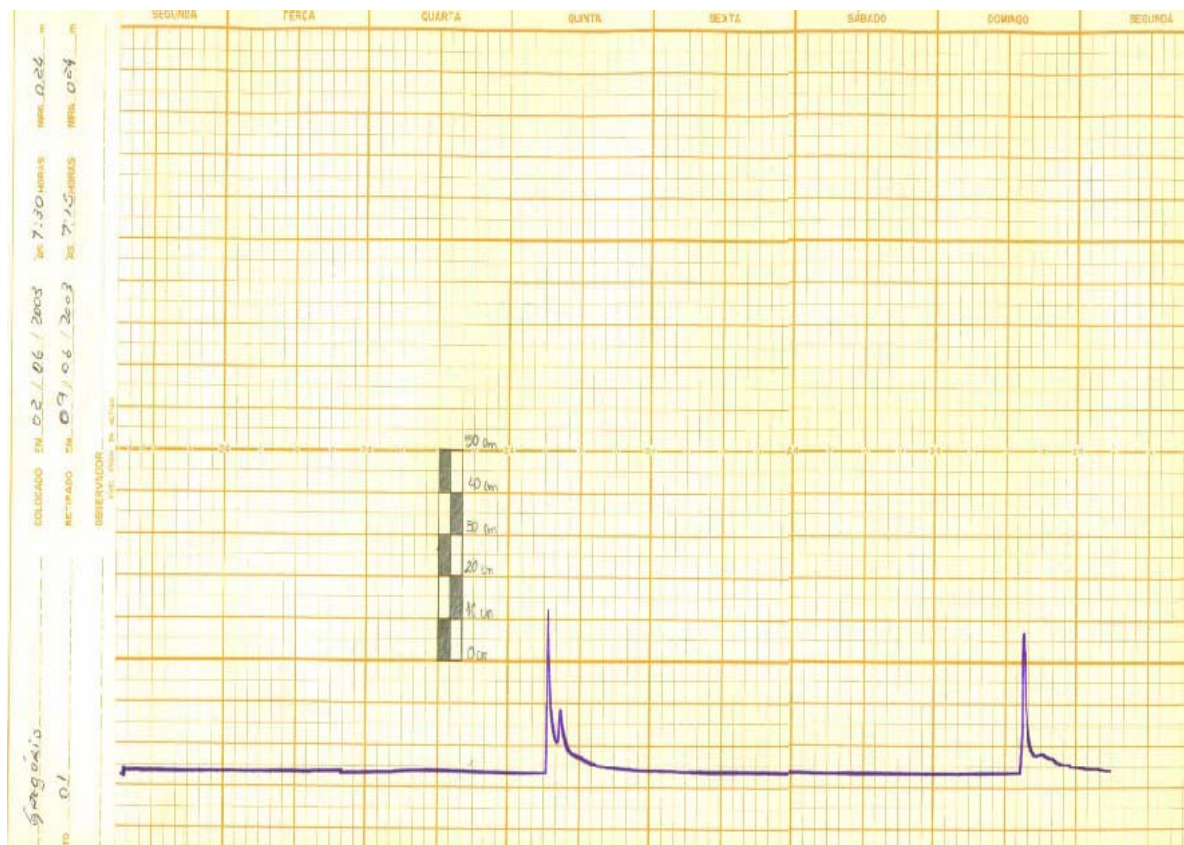


Figura 18. Linigrama de 02 a 09 de junho de 2003 registrado pelo linígrafo de bóia.

4.5. Simulações Hidrológicas com o Programa IPHS1 v. 2.03

As vazões de pico na bacia do Córrego do Gregório calculadas para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos, condições atuais e anteriores de urbanização e ordenação do pico de chuva a 25% e 50% estão apresentadas na tabela 12. Pode-se observar que o efeito da urbanização gera vazões cerca de 2 a 3 vezes maiores que a condição de pré-urbanização. Outra observação importante é que os maiores picos foram obtidos com a ordenação do pico de chuva a 50% do tempo.

Tabela 12. Resumo da simulação com diversas chuvas de projeto no Córrego do Gregório.

Tempo de Retorno	Vazão (m ³ /s)			
	Pico de chuva a 25%		Pico de chuva a 50%	
	Pré-urbanização	Condição atual	Pré-urbanização	Condição atual
5 anos	13,47	47,85	18,22	60,76
10 anos	23,78	66,80	32,68	85,71
25 anos	44,83	103,72	57,46	126,93

Nas figuras 19 a 22 são apresentados os hidrogramas obtidos das simulações.

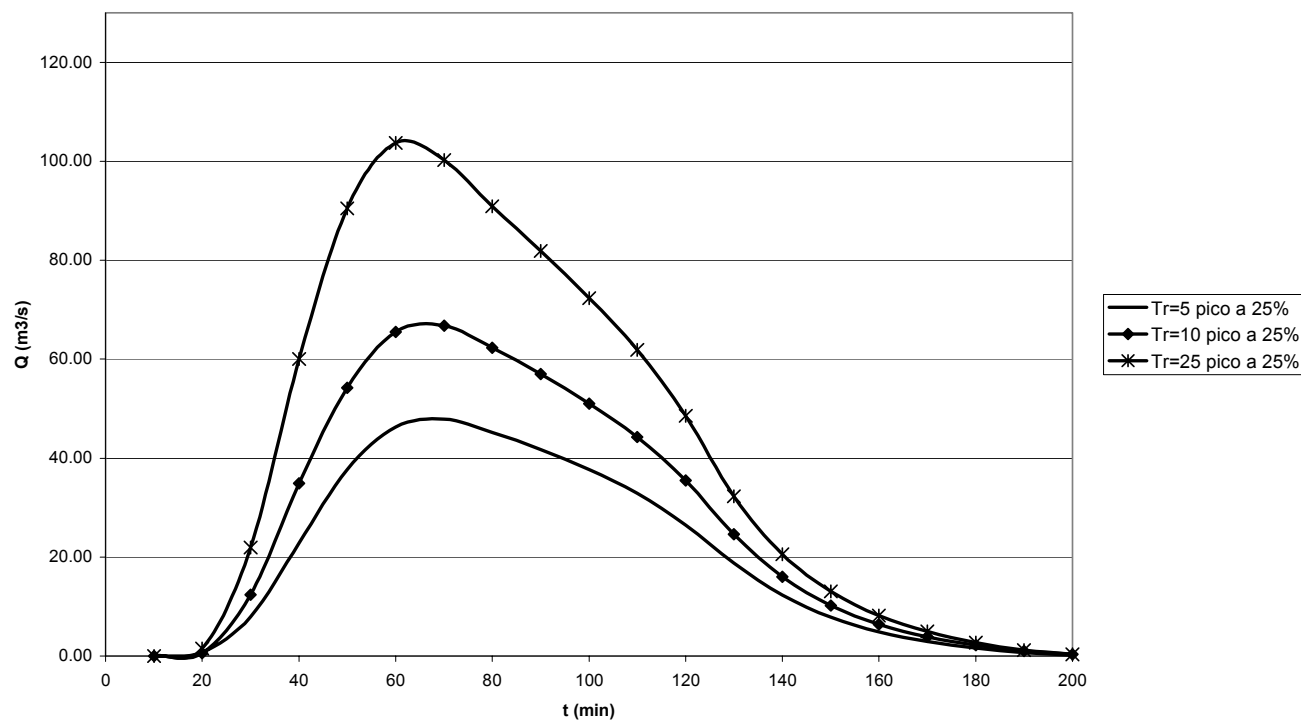


Figura 19. Hidrogramas para as condições atuais de urbanização, com intensidade máxima a 25% da duração da chuva.

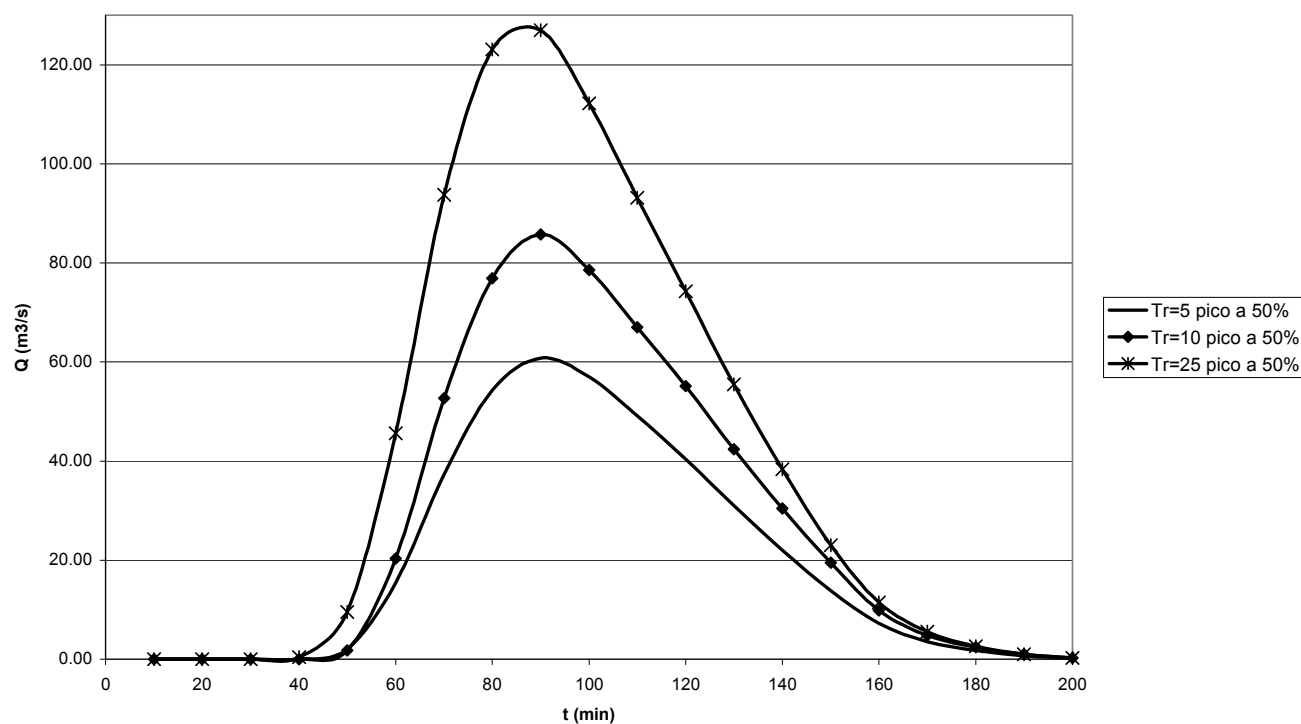


Figura 20. Hidrogramas para as condições atuais de urbanização, com intensidade máxima a 50% da duração da chuva.

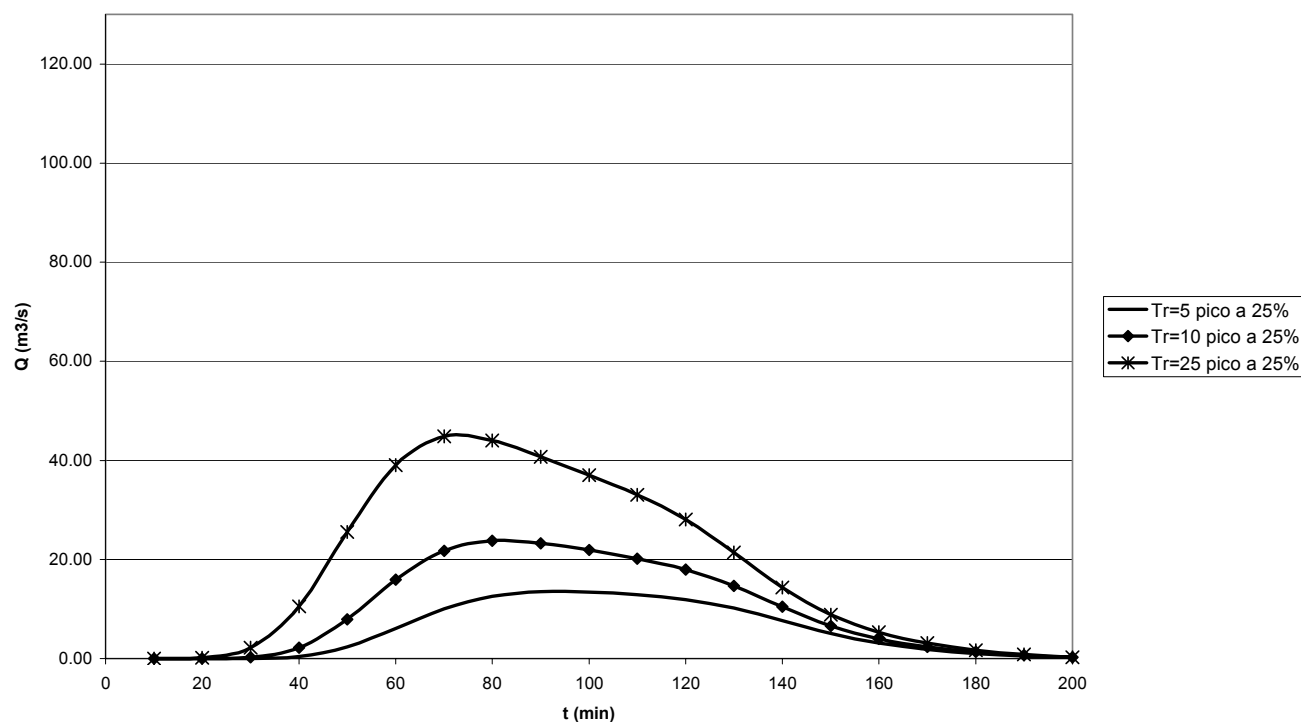


Figura 21. Hidrogramas para as condições de pré-urbanização, com intensidade máxima a 25% da duração da chuva.

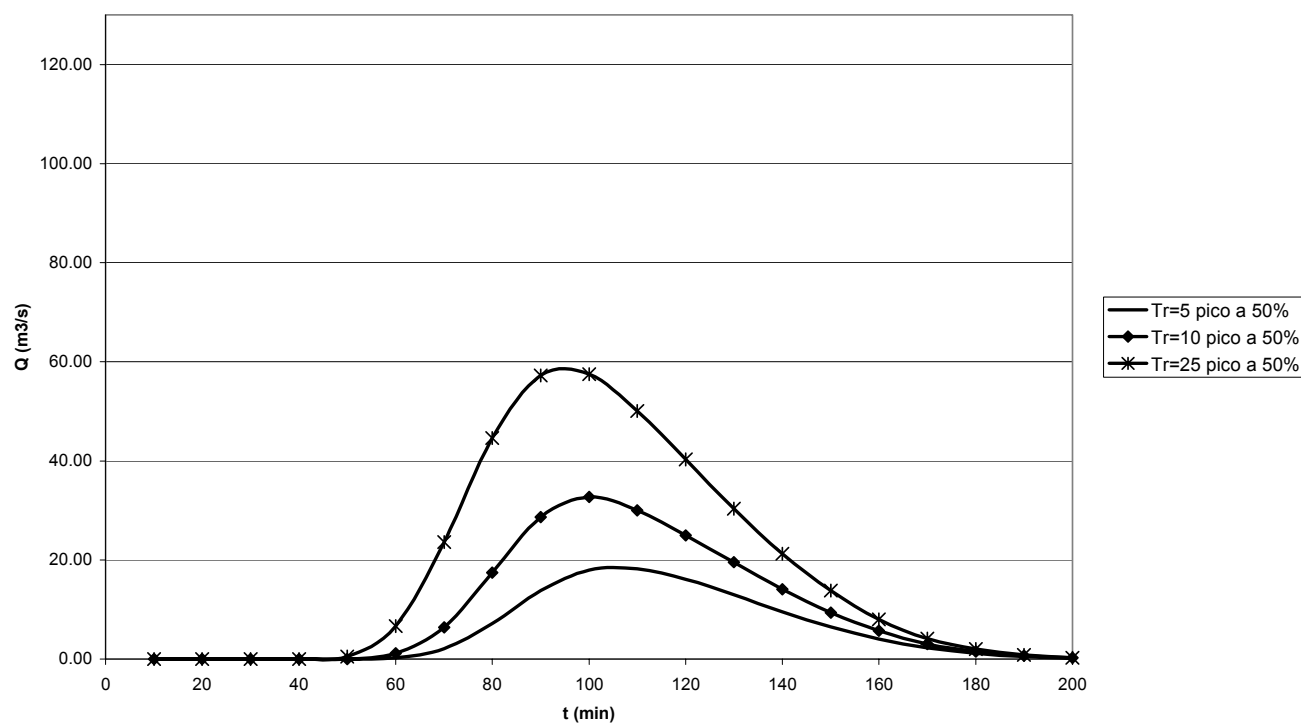


Figura 22. Hidrogramas para as condições de pré-urbanização, com intensidade máxima a 50% da duração da chuva.

4.6. Comparação entre Vazões de Pico para Diferentes Metodologias

É importante fazer uma comparação entre os resultados das simulações feitas com o IPHS1, as vazões de pico calculadas anteriormente no item 4.3. pelo método da convolução do hidrograma triangular do SCS e os dados das simulações da mestrandia Andréa M. Lira (LIRA, 2003). Foram utilizados os resultados das simulações no IPHS1 com reordenamento de chuva a 25%, pois é o que mais se aproximava da metodologia de LIRA (2003). Na tabela 13, pode-se observar que as simulações com o IPHS1 resultaram em valores cerca de 20% mais altos do que os de LIRA (2003), enquanto estes últimos ficaram bem próximos dos resultados obtidos com o hidrograma triangular. A diferença observada pode ser explicada pelo fato de a metodologia de LIRA (2003) utilizar a propagação em canais por onda cinemática, cálculo de tempo de concentração pela equação de George Ribeiro (RIBEIRO, 1961) e discretização da chuva de 5 em 5 min, enquanto no IPHS1 foi utilizado Muskingum-Cunge Linear, tempo de concentração calculado pela equação de Kirpich e discretização da chuva de 10 em 10 min.

Tabela 13. Comparação entre as vazões de pico calculadas com hidrograma triangular (item 4.3), as de LIRA (2003) e as simuladas no IPHS1 com pico de chuva a 25%, para o Córrego do Gregório.

Tempo de Retorno	Vazão (m ³ /s)					
	Pré-urbanização			Condição atual		
	Hidrograma Triangular	LIRA	IPHS1	Hidrograma Triangular	LIRA	IPHS1
5 anos	10,6	10,9	13,5	35,5	39,1	47,9
10 anos	18,4	18,9	23,8	50,3	55,7	66,8
25 anos	34,3	35,8	44,8	76,6	86,8	103,7

Entretanto, como a reordenação do pico da chuva no método do hidrograma triangular é feita a 40% da sua duração, é interessante também comparar esses dados com as vazões simuladas no IPHS1 para pico da chuva a 50% (tabela 14 e figura 23). Nesta comparação não foram inseridos os dados de LIRA (2003), pois sua metodologia de reordenamento de chuva não utiliza o pico a 50%. Como se pode observar, as vazões obtidas na simulação com o programa IPHS1 foram, em média, 70% maiores do que as calculadas pela convolução do hidrograma triangular do SCS. Essa diferença é provavelmente resultado da diferença entre os dois métodos, pois o hidrograma triangular do SCS é um método empírico, desenvolvido em bacias dos EUA, enquanto o programa IPHS1 utiliza um conjunto de conceitos e modelos hidrológicos, tanto empíricos quanto teóricos, desenvolvidos para bacias brasileiras. As

diferenças destes resultados ressaltam os efeitos de escala, discriminando as performances dos modelos “concentrados” e “semi-concentrados” (por sub-bacias). A atenuação de onda de cheia também segue métodos diferentes: sem propagação (método triangular), com propagação de Muskingum-Cunge (IPH-S1) e propagação com onda-cinemática (LIRA, 2003).

Tabela 14. Comparação entre as vazões de pico calculadas no item 4.3 e as simuladas no IPHS1 com pico de chuva a 50%, para o Córrego do Gregório.

Tempo de Retorno	Vazão (m ³ /s)					
	Pré-urbanização			Condição atual		
	Hidrograma Triangular	IPHS1	Diferença	Hidrograma Triangular	IPHS1	Diferença
5 anos	10,6	18,2	72 %	35,5	60,8	71 %
10 anos	18,4	32,7	78 %	50,3	85,7	70 %
25 anos	34,3	57,5	68 %	76,6	126,9	66 %

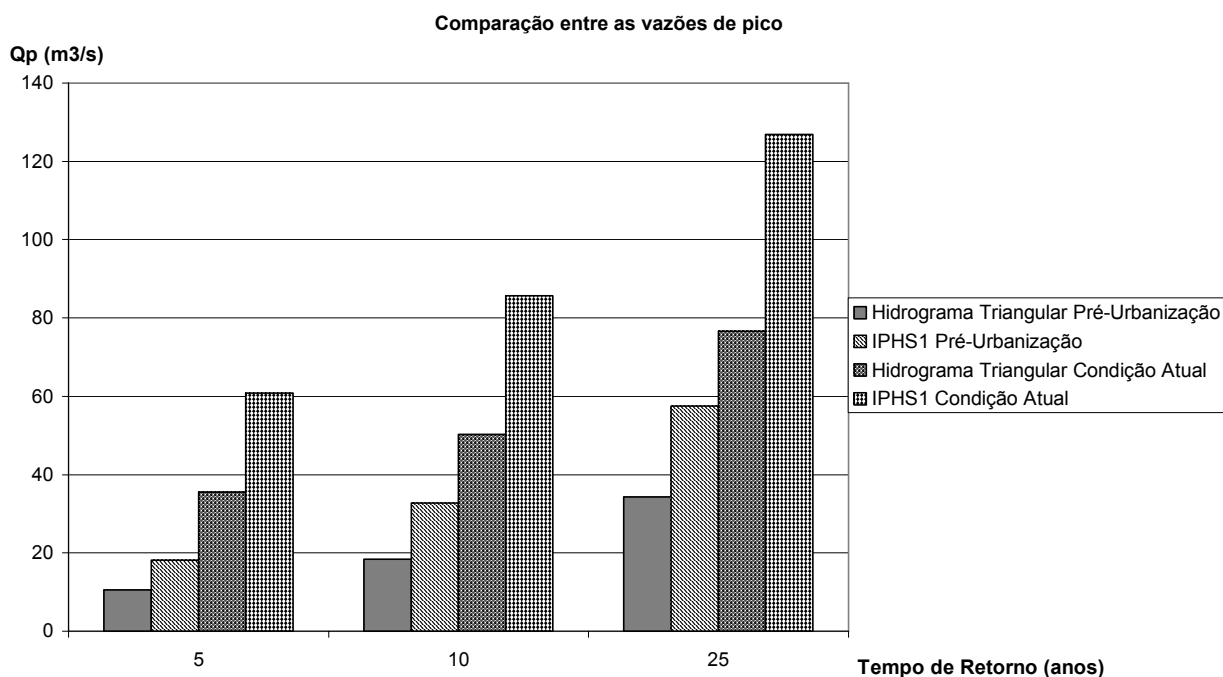


Figura 23. Comparação entre as vazões de pico calculadas no item 4.3 e as simuladas no IPHS1 com pico de chuva a 50%, para o Córrego do Gregório.

4.7. Vazões Específicas das Bacias

Dividindo as vazões de pico das bacias (tabela 11) por suas respectivas áreas, obtemos as vazões específicas (Q_{esp}), que podem ser interpretadas como a contribuição de vazão por unidade de área para a formação da vazão de pico. Os resultados são apresentados na tabela 15. Essas vazões específicas, especialmente as de pré-urbanização, podem servir como parâmetros de limitação de vazão para a ocupação de novas áreas.

Tabela 15. Vazões específicas para as bacias urbanas de São Carlos.

Bacia	Área (km ²)	Q_{esp} (m ³ /s . km ²)					
		5 anos		10 anos		25 anos	
		Pré-urbanização	Condição atual	Pré-urbanização	Condição atual	Pré-urbanização	Condição atual
Água Fria	29.64	0.51	0.58	0.89	0.98	1.66	1.80
Gregório	18.89	0.56	1.88	0.97	2.66	1.82	4.06
Água Quente	12.34	0.62	2.19	1.10	3.13	2.08	4.82
Sta. Ma. Madalena	11.25	0.63	1.03	1.12	1.67	2.14	2.92
Mineirinho	5.85	0.68	1.81	1.27	2.76	2.47	4.53
Tijuco Preto	3.87	0.53	5.66	1.09	7.49	2.32	10.64
Ponte de Tábua	2.58	0.50	3.55	1.08	5.12	2.43	7.93
Alto Monjolinho	2.03	0.50	1.06	1.11	1.93	2.49	3.70
Medeiros	1.96	0.42	6.78	1.04	9.04	2.46	12.86
Belvedere	1.42	0.40	2.20	0.96	3.49	2.25	5.95
Jockey Clube	1.13	0.47	6.03	1.14	8.33	2.64	12.32
Federal	1.00	0.42	2.97	1.01	4.50	2.40	7.31
Paraíso	0.72	0.07	3.66	0.38	5.36	1.39	8.40
Botafogo	0.30	0.10	4.61	0.53	6.79	1.71	10.68

Nas figuras 24 a 26, são apresentadas as diferenças entre as vazões específicas para a condição atual e para a condição de pré-urbanização, em função da área da bacia. Pode-se observar que há uma tendência de incerteza muito grande no acréscimo da vazão específica para bacias de até 5 km², ou seja, o efeito da urbanização em pequenas bacias pode resultar tanto em grandes aumentos de vazões quanto em aumentos pouco significativos. Já para bacias maiores que 5 km², a tendência é que o acréscimo da vazão específica resulte em valores pouco variáveis e mais baixos que os acréscimos das pequenas bacias.

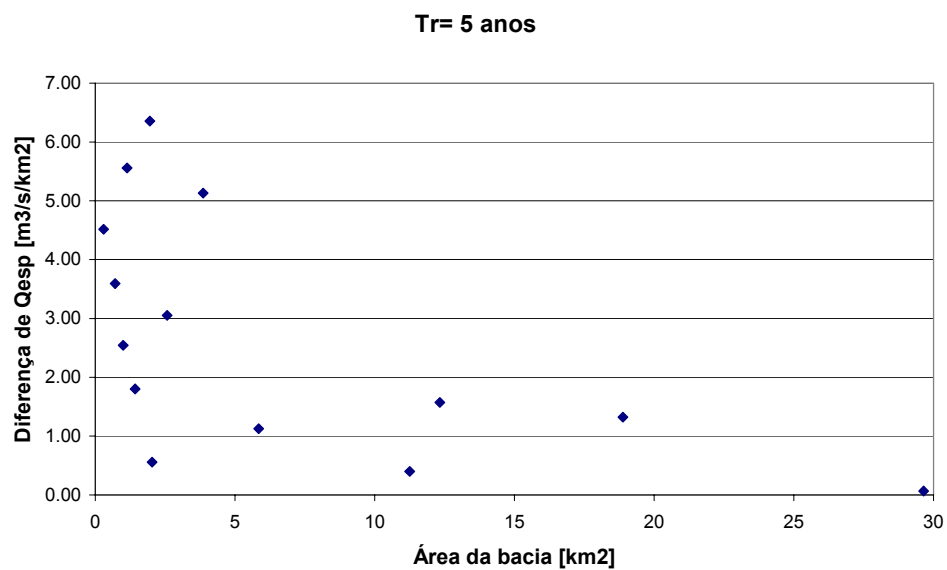


Figura 24. Diferenças entre as vazões específicas para a condição atual e para a condição de pré-urbanização para o tempo de retorno de 5 anos.

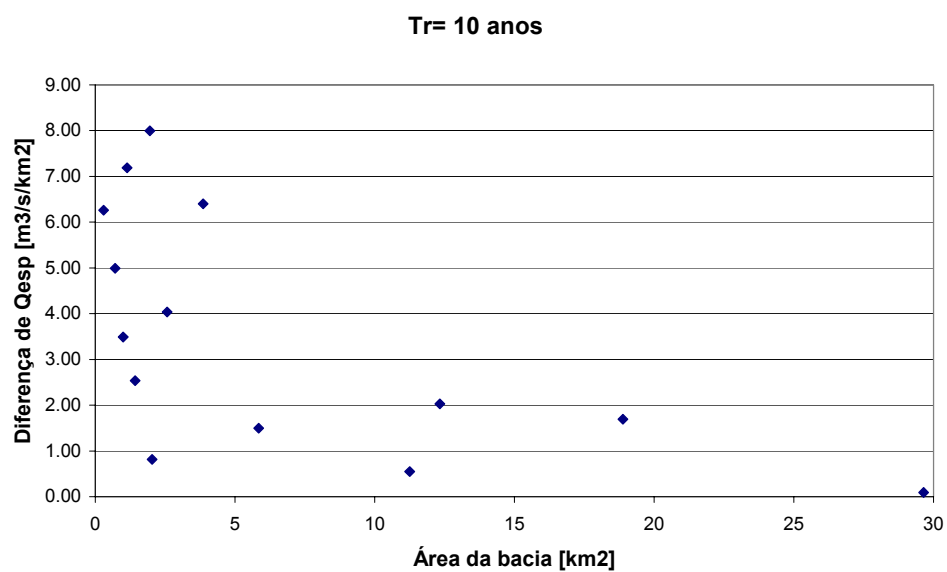


Figura 25. Diferenças entre as vazões específicas para a condição atual e para a condição de pré-urbanização para o tempo de retorno de 10 anos.

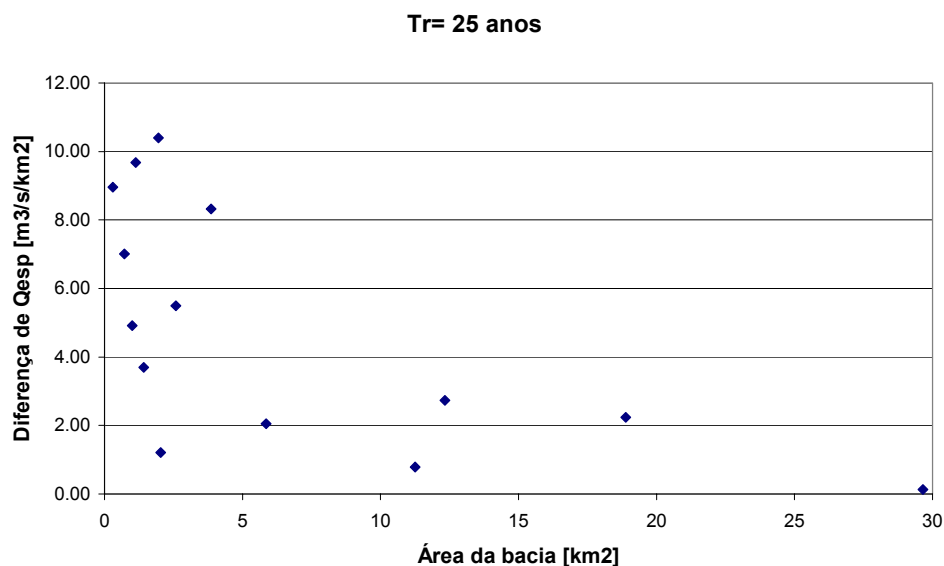


Figura 26. Diferenças entre as vazões específicas para a condição atual e para a condição de pré-urbanização para o tempo de retorno de 25 anos.

4.8. Entrevistas à Sociedade Civil

Para não tornar muito extenso o relatório, não serão apresentados aqui os resultados detalhados do questionário aplicado pela Doutoranda Regina Mambeli Barros, sendo apenas discutidos seus resultados. Estes podem ser consultados em BARROS *et al.*, 2002 e BARROS *et al.*, 2003a.

Foi observado, tanto na fase I (primeira etapa) quanto na fase II (segunda e terceira etapas) de entrevistas, que há a necessidade de se difundir conceitos técnicos e legais para a população no que concerne à Gestão de Recursos Hídricos, uma vez que o desconhecimento destes não é fruto do grau de escolaridade. Este desejo foi plenamente manifestado pelos entrevistados. O tema “Gestão de Recursos Hídricos” não é suficientemente conhecido, porém as enchentes urbanas, por afetarem diretamente a população, são mais bem conhecidas por esta. Entre as entrevistas realizadas, foi demonstrado interesse em se organizar em torno do interesse comum “Conservação da Água Urbana” e ser mais bem informado a respeito desse assunto (BARROS *et al.*, 2002; BARROS *et al.*, 2003a).

5. CONCLUSÕES

Com os estudos realizados, foi possível constatar os efeitos hidrológicos prejudiciais da urbanização na drenagem urbana, através do aumento do pico do hidrograma e do volume do escoamento superficial, além da redução do tempo de concentração.

Através das atividades realizadas, pode-se concluir que o gerenciamento da drenagem urbana a partir dos conceitos da Bacia Escola torna-se mais eficiente, pois fornece subsídios para um bom planejamento, tais como dados hidrológicos e características das bacias para cenários atuais e futuros, além da possibilidade de participação social, fundamental para a manutenção das melhorias implantadas.

O inventário das bacias contém informações relevantes para a realização de outros estudos mais aprofundados, que utilizem como parâmetros os dados disponibilizados. Uma primeira aplicação dessas informações já foi feita com o estudo de tempos de concentração realizado. Essas informações também são de grande validade para iniciar um desenvolvimento de um Plano de Drenagem Urbana, juntamente com outras informações tais como dados hidrológicos e Planos de Resíduos Sólidos e de Saneamento. Acima de tudo, o inventário das bacias, disponibilizado na Internet, serve como fonte de informação para a sociedade, conforme interesse demonstrado nas entrevistas realizadas.

As vazões de pico das bacias podem ser usadas para avaliar a necessidade de ações estruturais para minimização das cheias, enquanto as vazões de pré-urbanização podem ser referência para que novas ocupações não alterem as condições naturais de escoamento ou, no mínimo, não ampliem as vazões atuais.

Com relação às equações empíricas de tempo de concentração, deve-se estar atento ao tipo de bacia e o tipo de escoamento que as equações de t_c procuram representar, aplicando-a somente para bacias que se aproximem desses casos. No presente estudo, para as bacias pouco urbanizadas, o método de Dooge apresentou melhores resultados e, para as bacias mais urbanizadas, os métodos do SCS com ajuste e de Kirpich foram mais realistas.

O monitoramento implantado na bacia do Córrego do Gregório é de fundamental importância para a calibração dos modelos hidrológicos e para o conhecimento do comportamento do seu ciclo hidrológico. Sem as informações obtidas do monitoramento, a confiabilidade das informações resultantes dos estudos seria prejudicada, refletindo também em um precário planejamento das ações necessárias ao controle da drenagem urbana.

Os resultados das entrevistas realizadas à sociedade civil demonstram que há um grande potencial de organização da sociedade a fim de conservar a água urbana, por exemplo, na

forma de Comitês ou Associações de Bacias Urbanas. A sociedade é pouco informada sobre o assunto, porém demonstrou interesse de se informar e participar (BARROS et al., 2002 BARROS et al., 2003a).

6. PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE

Um estudo de Bacia Escola, devido à sua grande abrangência, é dificilmente esgotado em um projeto de Iniciação Científica. Pelo contrário, a necessidade de atuação nas diversas áreas, científica, tecnológica e social, indica que é mais aconselhável o estudo de uma Bacia Escola em uma equipe multidisciplinar.

Quanto às perspectivas de continuidade do presente trabalho, pode-se sugerir um aprofundamento do inventário das bacias, com dados mais detalhados acerca do tipo de ocupação do solo, taxa de impermeabilização, tipos de solo, levantamento de trechos canalizados, pontes e seções transversais dos canais. As simulações podem ser refeitas utilizando outros modelos hidrológicos e diferentes cenários futuros de urbanização, em consonância com o Plano Diretor de São Carlos, como vem sendo realizado pela Doutoranda Regina Mambeli Barros. As diferenças das vazões de pico obtidas por diferentes métodos devem ser estudadas mais profundamente, para determinar quais suas razões e quais métodos são mais aplicáveis.

Outra atividade que não foi muito aprofundada neste trabalho é a educação ambiental e as possibilidades de aumento da participação social nas questões de conservação da água e drenagem urbana.

Por fim, espera-se que os resultados desse projeto possam servir para o início de projetos mais completos e de novas idéias no que concerne ao gerenciamento da drenagem urbana.

7. MATERIAL ENCAMINHADO PARA PUBLICAÇÃO

ESTEVES, R. L., MENDIONDO, E. M. (2003). *Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP* In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba-PR, artigo submetido.

(Cópia no Anexo B)

8. OUTRAS ATIVIDADES DE INTERESSE

O bolsista realizou um estágio de dois meses (setembro e outubro/2002) na estação meteorológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da EESC/USP), onde realizou tarefas de observação de variáveis climatológicas e de digitação de dados pré-existentes ao início do estágio, a fim de atualizar o banco de dados informatizado do CRHEA. Na observação das variáveis climatológicas os aparelhos utilizados foram:

- Pluviômetro (Ville de Paris e Paulista)
- Pluviógrafo
- Tanque de evaporação classe A e Russo
- Heliógrafo
- Actinógrafo
- Barômetro de mercúrio
- Barógrafo
- Termômetros de máxima e de mínima
- Psicrômetro
- Termógrafo bimetalico
- Hidrógrafo de cabelo
- Anemômetro conchas
- Anemógrafo universal
- Termômetros de solo

Com a experiência de observação de variáveis o bolsista percebeu a dificuldade e a importância de obtenção de dados consistentes. A experimentação é a base para o desenvolvimento de modelos e pesquisas, e muitas vezes não é tratada com o devido rigor científico a fonte de dados experimentais.

Outra atividade de interesse foi a participação nas reuniões de elaboração do Plano Diretor do município de São Carlos e do COMDEMA (Conselho Municipal de Meio Ambiente), onde foram discutidos assuntos relacionados à drenagem urbana, ocupação do solo e gerenciamento ambiental.

O bolsista também vem colaborando com o projeto “Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP” (www.busplanodiretor.hpg.com.br), do edital CT-Hidro GURH 03/2002 – FINEP –FNDCT, na obtenção de dados hidrometeorológicos e criação de website.

9. APOIO

CNPq – Bolsa de Iniciação Científica

FINEP/FNDCT/CT-HIDRO - Projeto do edital: GURH 03/2002, convênio 01.02.0086.00 entre FIPAI, FINEP, EESC/USP e DAEE/SP “Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP” (www.busplanodiretor.hpg.com.br)

10. AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eduardo Mario Mendingo, pela orientação e fornecimento de material de consulta; à doutoranda Regina Mambeli Barros (SHS/EESC/USP), pelo fornecimento de material e resultados parciais de sua tese de Doutorado e pela correção e sugestões dadas a este relatório; à Eng. Dr. Karla de Andrade e Silva, à mestranda Andréa Monteiro Lira (SHS/EESC/USP) e ao Paulino de Almeida Neto, pela colaboração e trabalho em conjunto; ao técnico José Roberto Maramarque, pela instalação das plataformas de coletas de dados na bacia urbana do Córrego do Gregório; à Ecól. Sílvia Martins e Cid Martioli (CDCC/USP), pelas cartas digitalizadas das bacias hidrográficas; ao Prof. Assoc. Rodrigo de Melo Porto, pela logística oferecida no Laboratório de Hidráulica da EESC/USP; ao Eng. Me. Daniel Allasia e à Eng. Me. Rutinéia Tassi (IPH-UFRGS), pelo treinamento do IPHS1 durante o I Colóquio de Hidrologia Urbana da EESC/USP, em abril/2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, R. M.; ESTEVES, R. L.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. C. (2002). “*Entrevista à Sociedade Civil sobre Gestão de Recursos Hídricos e Drenagem Urbana*”. In: VIII Simpósio do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, CRHEA-EESC/USP, São Carlos, Dez. 2002.
- BARROS, R. M.; ESTEVES, R. L.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. C. (2003a). “*Entrevista à Sociedade Civil sobre Gestão de Recursos Hídricos e Drenagem Urbana*”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba-PR, artigo submetido.
- BARROS, R. M.; ESTEVES, R. L.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. C. (2003b). “*Cálculo de Vazões em Eventos Críticos para Mapeamento de Inundações na Sub-Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos-SP*”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba-PR, artigo submetido.
- BARROS, R. M. (2002). *Mapeamento de Enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na Bacia Escola do Córrego do Gregório* – Qualificação de Doutorado defendida 19/03/2002, SHS/EESC/USP.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas (2002). *Relatório de Gestão 2001*. Brasília, DF, ANA.
- LIMA, R.T. (2003). *Percepção ambiental e participação pública na gestão dos recursos hídricos: perfil dos moradores da cidade de São Carlos, SP (bacia hidrográfica do rio do Monjolinho)*. São Carlos, 2003. 114p. Dissertação (Mestrado) – PPG-SEA – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- LIRA, A. M. (2003). “*Avaliação das condições atuais e futuras no sistema de macrodrenagem da cidade de São Carlos - SP*”. São Carlos, 2003. 186p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MAGALHÃES JR., A. (2001). *Variáveis e desafios do processo decisório no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Brasil*. Ambiente & Sociedade. Campinas, SP, NEPAM/UNICAMP, ano 4, nº 8, jan-jul, p.21-47.
- McCUEN, R. H. (1982). *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- MENDIONDO, E. M. (2002). *Bacia Escola e Sociedade na Conservação da Água Urbana*. Depto. de Hidráulica e Saneamento, EESC/USP, Material Interno, 16p.
- MIRANDA, C.O. (2001). *O papel político-institucional dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Estado de São Paulo: um estudo de caso*. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R.C.; LEME, A.A. (orgs.). *Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil*. São Carlos, SP, Rima, p.135-148.
- PORTO, R. L.; ZAHED F., K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. (1993). *Drenagem Urbana*. In: *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. TUCCI, C. E. M. (org). Editora da UFRGS / EDUSP / ABRH. p805-847.

- RIBEIRO, G. (1961). *Acerca do Cálculo da Vazão de Obras D'Arte*. Revista do Clube de Engenharia, nº 249, Rio de Janeiro, 404 p.
- RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*, Edusp-EESC, São Carlos, SP.
- SCS. (1957). *Engineering Handbook: section 4 Hidrology*: U.S. Dept. Agr. Supplement A.
- TUCCI, C. E. M. (2002). *Gerenciamento da Drenagem Urbana*, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, Porto Alegre, v/7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora da UFRGS / EDUSP / ABRH, 952p.

ANEXO A

Características físicas das bacias hidrográficas

Bacia	Área	Perímetro	Comprimento Axial	Comprimento do Curso d'Água Principal	Comprimento Total dos Cursos d'Água	Largura Média	Densidade de Drenagem	Extensão Média de Escoamento	Coeficiente de Compacidade (Kc)	Fator de Forma (Kf)	Desnível Máximo	Declividade S ₁	Declividade S ₃
	km ²	km	km	km	km	km	km/km ²	km			m	m/m	m/m
Água Fria	29,646	26,969	9,847	8,789	11,948	3,011	0,403	0,843	1,397	0,306	158	0,016	0,013
Gregório	18,8879	22,429	8,999	8,565	15,79	2,099	0,836	0,551	1,456	0,233	166	0,0184	0,0121
Água Quente	12,3378	23,377	7,56	5,515	13,659	1,632	1,107	0,559	1,877	0,216	191	0,0253	0,0141
Sta. Ma. Madalena	11,2547	14,237	5,381	4,784	10,202	2,092	0,906	0,588	1,197	0,389	74	0,0138	0,0086
Mineirinho	5,8545	10,869	4,283	3,694	5,128	1,367	0,876	0,396	1,267	0,319	91	0,0212	0,0168
Tijuco Preto	3,8669	8,36	3,537	2,931	3,066	1,093	0,793	0,33	1,199	0,309	113	0,0319	0,0224
Ponte de Tábua	2,5801	6,698	2,544	2,192	2,192	1,014	0,85	0,294	1,176	0,399	70	0,0275	0,0182
Alto Monjolinho	2,033	6,963	2,602	2,145	2,145	0,781	1,055	0,237	1,378	0,3	82	0,0315	0,028
Medeiros	1,9568	5,61	2,359	1,359	1,359	0,83	0,695	0,36	1,131	0,352	93	0,0394	0,0277
Belvedere	1,4226	5,589	2,549	1,419	1,419	0,558	0,997	0,251	1,322	0,219	87	0,0341	0,0277
Jockey Clube	1,1334	4,35	1,859	1,241	1,241	0,61	1,095	0,228	1,153	0,328	63	0,0339	0,0282
Federal	0,998	4,832	2,195	1,013	1,013	0,455	1,015	0,246	1,364	0,207	65	0,0296	0,0261
Paraíso	0,7177	3,311	1,473	0,95	0,95	0,487	1,324	0,189	1,103	0,331	64	0,0434	0,0306
Botafogo	0,3035	2,482	1,144	0,48	0,48	0,265	1,582	0,158	1,271	0,232	67	0,0586	0,055

ANEXO B

Material encaminhado para publicação

Artigo submetido ao XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba-PR,.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE EQUAÇÕES E OBSERVAÇÕES DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM UMA BACIA URBANA DE SÃO CARLOS, SP

Rafael Lucio Esteves¹, Eduardo Mario Menciondo²

RESUMO - Nas últimas décadas, a intensa urbanização brasileira tem agravado os problemas de drenagem urbana e de gerenciamento dos recursos hídricos. As pesquisas em bacias urbanas procuram medidas para equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais das cidades. Neste artigo, analisa-se o contraste das fórmulas empíricas para cálculo de tempo de concentração t_c em comparação com dados reais obtidos do monitoramento de uma bacia urbana. Das fórmulas aplicadas, o t_c da onda cinemática aplicada ao conceito fractal obteve os melhores resultados. Para contrastar experimentalmente, foram realizadas novas medidas na curva-chave para validar t_c usando a celeridade da onda. Da comparação entre diferentes estimativas, variando em até 8 ordens de magnitude, recomenda-se a continuidade do contraste com dados observados e da adaptação das fórmulas às condições que se aproximem daquelas para as quais foram determinadas.

ABSTRACT - During the last decades, intense urbanization has greatly increased the problems in urban drainage and water resources management. Researches in urban basins aim to find measures to improve sustainable development in the cities. In this paper, the validity of empirical equations for time of concentration estimates t_c is outlined, in comparison to real data obtained from an urban basin. From equations applied, the equation of t_c derived from a kinematic-wave approach related to fractal assumptions performed more similarly to hydrograph observations. As complementary experimental hydraulic appraisal, new measures were done in the rating curve to validate t_c by using the wave celerity concept along the river channel. By comparing different equations, with differences up to 8 times, we recommend 1) the continuity of contrasting estimations to field observation monitoring, as well 2) the use and adaptation of equations to the similar conditions of which the empirical formulae were originally applied.

Palavras-Chave: tempo de concentração; hidrologia urbana; São Carlos, SP

¹ Bolsista PIBIC/CNPq, Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Rua Alameda dos Heliotropos, nº. 20 / 6, São Carlos-SP, 13566-537. Tel. (16) 261-5715, rafaesteves@hotmail.com

² Prof. Dr., Depto. de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (SHS/EESC/USP)

Caixa Postal 359. São Carlos-SP, CEP: 13560-970. Fone: (16) 273-9542, FAX: 273-9550, e-mail: emm@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

Mais de 80 % da população brasileira se concentra no meio urbano, situação que continua em aumento e de forma caótica. Segundo TUCCI (2002), o desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um impacto significativo na infra-estrutura de recursos hídricos. Um dos principais impactos tem ocorrido na drenagem urbana, sobretudo no aumento da frequência e magnitude das inundações e na deterioração ambiental. Segundo as Diretrizes Estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CGE, 2001), o Brasil perde, anualmente, mais de US\$ 1.000.000.000 com enchentes urbanas.

Os estudos científicos em bacias urbanas ganham importância para um melhor controle dos recursos hídricos, fornecendo informações estratégicas para ações de mitigação de enchentes. Um bom conhecimento das componentes do ciclo hidrológico urbano e do processo chuva-vazão se faz necessário, portanto, para a realização de medidas estruturais e não-estruturais de prevenção de enchentes, como o dimensionamento de elementos de macro-drenagem e o Plano Diretor. Para caracterizar o hidrograma e o comportamento da bacia, o tempo de concentração é um elemento fundamental. O tempo de concentração é o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia deslocar-se até a seção principal. Esse tempo é definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma.

A determinação de um tempo de concentração confiável é de fundamental importância, pois o método racional, os hidrogramas unitários e alguns dos modelos de chuva-vazão mais utilizados requerem essa estimativa. Diversas fórmulas empíricas têm sido propostas para determinar esse parâmetro em função de características físicas da bacia, da sua ocupação e da intensidade da chuva. Essas fórmulas têm origem experimental e devem ser aplicadas em condições próximas daquelas para as quais foram determinadas e do tipo de escoamento que cada fórmula procura representar.

Este artigo visa a comparar os resultados de tempos de concentração obtidos por fórmulas empíricas, através da análise de hidrogramas, e contrastando com medidas hidráulicas obtidas numa pequena bacia urbana da cidade de São Carlos, SP. Trata-se de uma sub-bacia do Córrego do Gregório, que atravessa a região central da cidade e é responsável por grande parte das ocorrências de enchente na cidade (Figura 1). Segundo entrevista a comerciantes atingidos por enchentes no córrego do Gregório, o tempo, depois de começado a precipitação até que a inundação atinja o interior de suas lojas, está entre 15 e 30 minutos (RIGHETTO et al., 2003).



Figura 1. Enchente urbana na Bacia Hidrográfica do Gregório, em São Carlos, SP.
Foto: Pedro Caballero, Defesa Civil de São Carlos, 2002.

Este objetivo é parte da pesquisa PIBIC/CNPq “Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana” (www.baciaescola.hpg.com.br) e “Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP – BUS” (www.busplanodiretor.hpg.com.br), da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), com interveniência do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC) e Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAAE).

METODOLOGIA

Os dados hidrológicos monitorados foram obtidos de SILVA (2003). Tratam-se de 10 eventos cujos hidrogramas apresentam resolução de 1 minuto. Observando os hidrogramas (p.ex. ver Figura 2), obteve-se o tempo do pico (t_p , ver Figura 2), como sendo o tempo transcorrido desde o início do aumento da vazão até o pico do hidrograma. Com o tempo do pico, utilizou-se a seguinte relação para o cálculo do tempo de concentração (GRAY, 1970):

$$t_c = t_p / 0,6 \quad (1)$$

O tempo de concentração foi estimado da celeridade da onda cinemática (TUCCI, 1993):

$$c_o = 1,67 \cdot S_o^{0,3} \cdot Q_o^{0,4} / n^{0,6} \cdot B^{0,4} \quad (2),$$

onde c_o = celeridade da onda (m/s); S_o = declividade do fundo do canal (m/m); Q_o = vazão (m^3/s); n = rugosidade de Manning; B = largura correspondente a Q_o em (m).

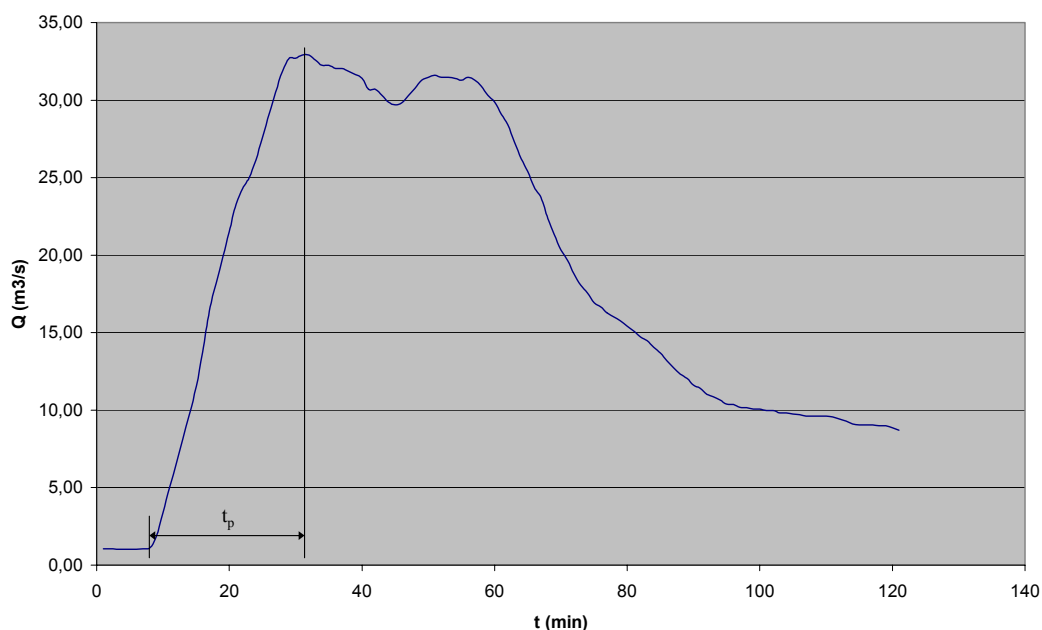


Figura 2. Hidrograma do evento do dia 01/03/2000, ilustrando a obtenção do tempo do pico. Fonte: Silva (2003)

Obtido o valor da celeridade, calculou-se o tempo de concentração por:

$$t_c = L / c_o \quad (3)$$

onde t_c = tempo de concentração (s); L = comprimento do talvegue (m). Realizaram-se três medidas de vazão no córrego pelo método da integração da distribuição de velocidades com molinete fluviométrico (MARTINS e PAIVA, 2001), obtendo Q_o e B . Foram utilizadas várias fórmulas empíricas para o tempo de concentração (em minutos):

Kirpich (citado por TUCCI, 1993):

$$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (4),$$

onde L = comprimento do talvegue (km); S = declividade do talvegue (m/m), para pequenas bacias rurais com declividades de 3 a 10% e áreas de até 0,5 km². Embora as informações que a fórmula necessita (L e S) sejam uma indicação de que ela reflete o escoamento em canais, o fato de ter sido desenvolvida para bacias tão pequenas é uma indicação que os parâmetros devem representar o escoamento em superfícies. A fórmula de “*Califórnia culverts practice*” (citado por TUCCI, 1993), $t_c = 57 L^{1,155} H^{0,385}$ é uma modificação da Eq. 4, substituindo-se $S = L / H$.

Onda Cinemática (TUCCI, 1993):

$$t_c = 447 (n \cdot L)^{0,6} \cdot S^{0,3} \cdot I^{-0,4} \quad (5),$$

onde n = rugosidade de Manning; L = comprimento do talvegue (km); S = declividade do talvegue

(m/m); I = intensidade da precipitação efetiva (mm/h). A Eq. 5 foi deduzida a partir das equações de onda cinemática aplicada a superfícies, baseando-se na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração e na equação de resistência ao escoamento proposta por Manning. Essa equação é adequada para pequenas bacias onde o método racional pode ser aplicado e o efeito da superfície de escoamento é predominante. Para a determinação de I , foi usada a I-D-F para a cidade de São Carlos (RIGHETTO, 1998) $I_n = 1519 \cdot T^{0,236} / (16 + d)^{0,935}$, onde I_n = intensidade da precipitação bruta (mm/h), T = período de retorno (anos); d = duração da chuva em minutos. Fazendo $d = t_c$, a determinação do t_c torna-se um processo iterativo, a partir da Eq. 1 (Kirpich), para o cálculo da intensidade de chuva (TUCCI, 1993). Com o novo valor de t_c recalcula-se a intensidade de chuva e um novo valor de t_c , até que o processo convirja. O valor de I é obtido pelo método do *Soil Conservation Service* (SCS) $P_e = (P - 0,2 S)^2 / P + 0,8 S$, onde P_e = precipitação efetiva (mm), P = precipitação total (mm), $S = 25400 / CN - 254$ e CN = número da curva.

Onda cinemática aplicada ao conceito fractal de bacias – OCF (ARON, 1991):

$$t_c = 0,93 \cdot k^{5/12} \cdot n^{3/4} \cdot L^{7/12} / (c^{1/2} \cdot I^{1/4} \cdot S^{3/8}) \quad (6),$$

onde $k = L \cdot A^{-3/5}$, e $c = R \cdot a^{-1/2}$, k = fator de forma da bacia, c = fator de forma do canal, A = área da bacia em m^2 , R = raio hidráulico do canal (m), a = área molhada do canal (m^2). Na Eq. 6, o padrão de drenagem é adotado como um sistema de ramificações que se repetem sucessivamente em segmentos de comprimento e profundidade cada vez menores, desde a saída da bacia até seu divisor. Com base no conceito fractal, fatores de forma da bacia e do canal, juntamente com o método racional e a onda cinemática, t_c da Eq. 6 combina características hidro-geomorfológicas.

Método de Dooge (TUCCI, 1993):

$$t_c = 21,88 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17} \quad (7)$$

onde A = área da bacia em km^2 , S = declividade do talvegue em m/m. Inicialmente, a Eq. 9 foi determinada com dados de 10 bacias rurais com $140 < A < 930 km^2$. Seus parâmetros refletem o comportamento de bacias médias e escoamento predominante em canais.

Método do SCS Lag fórmula (apud TUCCI, 1993):

$$t_c = 3,42 \cdot L^{0,8} (1000 / CN - 9)^{0,7} \cdot S^{-0,5} \quad (8),$$

onde L = comprimento do talvegue (km), CN = número da curva, S = declividade do talvegue (m/m). Foi desenvolvida em bacias rurais com áreas de drenagem de até $8 km^2$ e reflete o escoamento em superfícies. Para aplicação em bacias urbanas o SCS sugere procedimentos para

ajuste em função da área impermeabilizada e da parcela dos canais que sofreram modificações. O SCS propõe a seguinte fórmula para ajuste de t_c (McCUEN, 1982; TUCCI, 1993):

$$FA = 1 - PRCT (-6789 + 335CN - 0,4298CN^2 - 0,02185CN^3) 10^{-6} \quad (9),$$

onde $PRCT$ é a porcentagem do comprimento do talvegue modificado ou então a porcentagem da bacia impermeável. Caso ocorram ambas as modificações, o fator é calculado duas vezes, uma vez para $PRCT = PLM$ (porcentagem do comprimento modificado) e outra para $PRCT = PI$ (porcentagem impermeabilizada da bacia). O fator de ajuste final FA é obtido pela multiplicação dos dois valores anteriormente calculados.

LOCAL DE ESTUDO

A bacia estudada é bacia de montante do Córrego do Gregório, o qual se localiza no município de São Carlos, SP. Esta bacia é uma das 14 bacias urbanas da cidade (Figura 3, ver ESTEVES, 2003; www.baciaescola.hpg.com.br). O Córrego do Gregório tem estudos comparativos para várias bacias brasileiras (p.ex. GERMANO, 2001). O estudo foi realizado na bacia de montante do Gregório com área de drenagem de $10,1 \text{ km}^2$, comprimento de talvegue de $5,8 \text{ km}$ e declividade média de $0,023 \text{ m/m}$. A ocupação do solo é 40% residencial e 60 % de espaços abertos com vegetação, com um valor de $CN_{\text{médio}} = 78$. Até o ponto onde foi instalado o linígrafo, o córrego não é canalizado, tendo sido adotado um coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0,035$ (PORTO, 2003, comunicação pessoal), fator de forma do canal $c = 0,23$ (ARON, 1991) e, visando o Plano Diretor de São Carlos, usou-se $T = 20$ anos.



Figura 3. Esquerda: bacias urbanas de São Carlos; Direita: Delimitação da sub-bacia estudada. Fonte: Centro de Divulgação Científico Cultural da USP-São Carlos, 2002.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de tempo do pico (t_p) e tempo de concentração (t_c) para os 10 eventos registrados por SILVA (2003) estão apresentados na tabela 1. Os resultados estão arredondados à unidade. Os calculados a partir das fórmulas empíricas estão na Tabela 2.

Tabela 1. Valores de t_p e t_c para 10 eventos registrados por SILVA (2003).

Data (dd/m/aa)	31/01/00	01/2/00	08/02/00	11/02/00	12/02/00	13/02/00	19/02/00	01/03/00	08/03/00	11/03/00	Média	Desvio Padrão
t_p (min)	24	26	24	44	31	15	11	24	27	42	27	10
t_c (min)	40	43	40	73	52	25	18	40	45	70	45	17

Tabela 2. Diferença entre os valores de t_c obtidos com fórmulas empíricas e o valor médio em 10 tormentas observadas.

Método	Kirpich (Eq.4)	Onda Cinemática (Eq.5)	Onda Cinemática Fractal (Eq.6)	Dooge (Eq.7)	SCS (Eq.8)
t_c (min)	66	266	33	107	175
Diferença (%)	47	495	-26	140	292

Comparação das abordagens

Como foi visto na Tabela 1, o t_c médio observado nos hidrogramas foi de 45 ± 17 minutos. Esse desvio alto é natural, pois há parâmetros que afetam o tempo de concentração que são variáveis de evento para evento, como a intensidade de chuva e a condição de umidade anterior do solo. Como pode ser observado nas fórmulas de t_c via onda cinemática (Eq. 5) ou OCF (Eq. 6), o aumento da intensidade da chuva diminui t_c . A condição de umidade anterior do solo afeta t_c na medida em que influi na infiltração de água no solo e, conseqüentemente, na intensidade de chuva efetiva. Altas condições de umidade diminuem a infiltração, aumentam a intensidade de chuva efetiva, com a conseqüente queda de t_c . Na Tabela 2, há uma comparação dos valores calculados de t_c com o valor médio observado nos 10 eventos de chuva.

Os valores obtidos com as fórmulas empíricas demonstram uma grande variabilidade, com dois casos extremos. Por um lado, o t_c médio observado é mais próximo do método da OCF (Eq. 6), com diferença de 26 %. Por outro lado, t_c médio observado tem mais de 465% de diferença com o valor obtido com a fórmula da Onda Cinemática (Eq. 5), o qual chegou a ser 8 vezes maior que o obtido com a fórmula da OCF (Eq. 6). *Quais são as causas desses dois métodos, ambos desenvolvidos a partir da teoria da onda cinemática combinada ao método racional, oferecem tamanha disparidade?* Comparando com hidrogramas observados, o método de OCF (Eq. 6) se aproxima da realidade porque inclui uma aproximação à topologia dos canais e a densidade de drenagem, situação que o método da onda cinemática tradicional não considera. O método da onda cinemática (Eq. 5) tende a superestimar o t_c , pois considera que o escoamento ocorre num plano representado pela bacia, com pequena profundidade, que na prática não ocorre (TUCCI, 1993). O

escoamento tende a ocorrer numa rede de pequenos riachos interligados, onde a contribuição dos planos tem comprimento de poucos metros, que é justamente a hipótese que diferencia o método de onda cinemática-fractal. A fórmula de Kirpich (Eq. 4) apresenta valor próximo ao t_c observado, apenas 47% maior, apesar dessa fórmula ter sido desenvolvida para bacias rurais de até 0,5 km². A tendência é subestimar t_c (TUCCI, 1993); porém, com a urbanização de mais de 40%, isto é compensado. A fórmula de Dooge (Eq. 7) resultou 140% maior que t_c observado. Essa diferença é explicável, já que a fórmula foi desenvolvida em bacias rurais na faixa de 140 a 930 km², refletindo o comportamento de bacias médias, enquanto a bacia observada trata-se de uma pequena bacia urbana. Já a fórmula do SCS (Eq. 8) apresentou um valor muito alto, mesmo com o ajuste em função da urbanização. O fator de ajuste não apresentou uma diminuição efetiva em t_c , pois a bacia não é completamente urbanizada e quase não possui trechos de canal modificado.

Contraste e Validação Hidráulica

Para contrastar t_c com a velocidade média na seção de controle de vazão (V), foram realizadas medidas de vazão para aproximar a celeridade da onda e t_c . A validade hidráulica do método foi para várias profundidades y comparadas à de extravazamento do canal principal y_{cb} (Figura 4). Para valores $y > y_{cb}$, a celeridade da onda diminui, mantendo a relação $c \div V > 1$ (CUNGE et al, 1980). O trecho não apresenta efeitos significativos de remanso ($S > 0,0001$) ao longo do percorrido. Na Tabela 3, aparecem valores de $24 < t_c < 33$ minutos a partir da celeridade da onda (Eq. 2). Estes são próximos do obtido pela fórmula da OCF, reforçando o interesse pela (Eq. 6); por outro lado, demonstra-se a necessidade de pesquisar mais sobre a onda cinemática tradicional.

Tabela 3. Parâmetros e resultado do cálculo do t_c a partir da celeridade c_o da onda.

Medição	Q_o (m ³ /s)	B (m)	S_o (m/m)	n	c_o (m/s)	t_c (min)
1	1,813	4,8	0,0234	0,035	2,74	32,7
2	3,507	4,8	0,0234	0,035	3,65	24,5
3	4,309	6,1	0,0234	0,035	3,51	25,5



Figura 4- Escoamento no trecho de montante para $y < y_{cb}$ (a) e $y > y_{cb}$ (b) em uma seção de controle da bacia do Gregório (área de drenagem = 10,1 km²). Fonte: FINEP/FIPAI-EESC/DAEE (2003) www.busplanodiretor.hpg.com.br

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Deve-se estar atento ao tipo de bacia e o tipo de escoamento que as equações de t_c procuram representar, aplicando-a somente para bacias que se aproximem desses casos. É questionável a alta variação de t_c através da onda cinemática tradicional. Para a bacia urbana de 10 km², por um lado, as fórmulas com melhor desempenho de t_c foram a da onda cinemática fractal (OCF) e a de Kirpich. Esta última deve ser mais pesquisada, pois foi desenvolvida para pequenas bacias rurais. Por outro lado, a fórmula da OCF, além de permitir considerar o efeito da urbanização através da diminuição da intensidade de chuva efetiva, considera também parâmetros como forma a rugosidade do canal, forma e declividade da bacia. Embora poucas abordagens hidro-geomorfológicas são relacionadas ao t_c , a proposta de OCF oferece novas oportunidades para bacias urbanas brasileiras. Validações complementares são recomendáveis: 1) análise da curva-chave, monitorando a sua possível mudança conforme o crescimento de áreas urbanas, e da relação física entre celeridade da onda e a velocidade média ($c \div V$), 2) obtenção direta do t_c a partir do tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma, 3) validação da relação empírica $t_c = t_p \div 0,6$ para eventos com diferentes tempos de retorno e 4) maior monitoramento hidrológico experimental urbano, diminuindo as fontes de incerteza das equações, através de um Sistema de Alerta de Enchentes Urbanas baseado em dados locais. Parte dessas metas podem ser trabalhadas a partir das estimativas de t_c do banco de dados das 14 bacias urbanas (Esteves, 2003; www.baciaescola.hpg.com.br), através de análise comparativa, e visando o Plano Diretor Urbano de São Carlos.

AGRADECIMENTOS : CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa PIBIC; FINEP/FNDCT/CT-HIDRO, GURH 03/2002, convênio 01.02.0086.00 entre FIPAI, FINEP, EESC/USP e DAEE/SP; à Eng. Dra. Karla de Andrade e Silva, ao técnico José Roberto Maramarque e ao Prof. A. Righetto (UFRN) pela obtenção dos dados monitorados do Córrego do Gregório; ao Prof. Assoc. Rodrigo de Melo Porto, pela logística oferecida no Laboratório de Hidráulica da EESC/USP; à Ecól. Sílvia Martins e Cid Martioli (CDCC/USP) pelas cartas digitalizadas das bacias hidrográficas; ao Dr. Renato S. Anelli, Prefeitura Municipal de São Carlos e ao Dr. Jurandir Povinelli, Serviço Autônomo de Águas e Esgotos, São Carlos.

REFERÊNCIAS

- Aron, G.; Ball, J.E.; Smith, T.A. (1991) *Fractal Concept Used in Time-of-Concentration Estimates*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 117, No. 5, Setembro/Outubro, 1991
- Centro de Divulgação Científico Cultural (2002) *Bacias de São Carlos*, CDCC / Setor de Biologia
- Cunge, A. J., Holly, F. M. Jr., Verwey, A. (1980) *Practical aspects of computational river*

Esteves, R. Relatório PIBIC/CNPq – EESC/USP – São Carlos, SP. 2003

hydraulics. Boston: Pitman Adv. Publ. Program

Esteves, R. L. (2003) Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana. PIBIC/CNPq-EESC/USP (www.baciaescola.hpg.com.br).

Germano, A. (2001). Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias Urbanas Brasileiras. In: *Drenagem Urbana – Avaliação e Controle* (2001). Org.: TUCCI, C. E. M.; Ed. UFRGS-ABRH, Porto Alegre-RS.

Gray, D.M. (ed) (1970) *Handbook on the principles of hidrology*. Huntigton: Wat. Inf. Center.

FINEP/FIPAI-EESC/DAEE (2003) *Experimento piloto de gerenciamento de bacias urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP*. Conv. 01.02.0086.00 (www.busplanodiretor.hpg.com.br)

MCT/CGE – Ministério de Ciência e Tecnologia/ Centro de Estudos e Gestão Estratégica (2001). *Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*, Brasília, 2001

McCuen, R.H. (1982) *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Martins, E.S.P.R., Paiva, J.B.D, (2001) *Quantidade dos Recursos Hídricos* in Paiva, J.B.D e Paiva E.M.C.D. *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*, Porto Alegre, ABRH, 2001.

Righetto, A. M. (1998), *Hidrologia e Recursos Hídricos*, Edusp-EESC, São Carlos, SP.

Righetto, J.M., Barros, R.M. e Mendiondo, E.M. (2003) *Avaliação da Seguridade e Percepção Pública Sobre Riscos de Enchentes em Várzeas Urbanizadas: o Caso do Micro-Centro da Cidade de São Carlos – SP*, in: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, artigo submetido, Curitiba – PR (esta edição).

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*, Tese Doutor em Hidráulica e Saneamento, SHS-EESC-USP, São Carlos.

Tucci, C.E.M. (2002) *Gerenciamento da Drenagem Urbana*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, v/7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28.

Tucci, C.E.M. (1993) *Hidrologia – Ciência e Aplicação*, Porto Alegre, Ed. da Universidade, ABRH, EDUSP, 1993.