

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

AUGUSTO CESAR OYAMA

**Estudos hidrológicos aplicados em projetos de urbanismo de impacto reduzido:  
uma terceira margem de possibilidades para a Bacia Santa Maria do Leme, em São  
Carlos/SP**

SÃO CARLOS

2019





AUGUSTO CESAR OYAMA

**Estudos hidrológicos aplicados em projetos de urbanismo de impacto reduzido:  
uma terceira margem de possibilidades para a Bacia Santa Maria do Leme, em São  
Carlos/SP**

**Versão original**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental

Orientador: Rodrigo de Melo Porto

SÃO CARLOS

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA  
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,  
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues  
Fontes da EESC/USP

O98e Oyama, Augusto Cesar  
Estudos hidrológicos aplicados em projetos de urbanismo  
de impacto reduzido | : uma terceira margem de  
possibilidades para a Bacia Santa Maria do Leme, em São  
Carlos/SP / Augusto Cesar Oyama; orientador Rodrigo de Melo  
Porto. -- São Carlos, 2019.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola  
de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2019.

1. Hidrologia urbana. 2. Projetos de urbanismo.  
3. Inundações. 4. Geotecnologias. I. Título.

Elaborado por Elena Luzia Palloni Gonçalves – CRB 8/4464



# FOLHA DE JULGAMENTO

---

Candidato(a): **Augusto Cesar Oyama**

Data da Defesa: 18/06/2019

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Rodrigo de Melo Porto (Orientador(a))**


Aprovado

**Luciana Bongiovanni Martins Schenk**

Aprovado

**Jamil Alexandre Ayach Anache**

APROVADO

  
**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

## **DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS**

À minha família, por apoiar as minhas escolhas e partilhar dos meus tropeços e conquistas.

Aos mestres, na figura de professores, por me fazerem enxergar com luz diversa e ângulos diferentes.

Em particular, aos professores Porto, Luciana, Marcel, Jeferson e Mindu, além de mestres saudosos, especialmente Douglas, Ana Rosa, Mena e Juliana Ricca, por serem minhas maiores referências do significado de ser professor.

À Veredas: Caminho das Nascentes, representada por Leda, Christian e Paulo, pelos ensinamentos e por definirem a imagem do que é o ativismo ambiental.

Aos colegas do PExURB, por darem sentido ao ensino, à pesquisa e à extensão.

Aos colegas do Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme, pela união de esforços sobre uma ideia transformadora.

Aos colegas da Vetiver, pela experiência profissional e pelo carinho constante.

Aos colegas da Itália, por compartilharem uma vivência divisora de águas.

À Ana Luiza, pela gentil contribuição no desenvolvimento da linda arte verificada na contra-capa deste trabalho.

À minha família são-carlense, amizades preciosas, pela coleção de histórias dos momentos mais queridos.

À Ana e Henrique, por iluminarem as minhas travessias.



*"[...] ogni studente [...] dovrebbe essere consapevole che in una di quelle pagine, forse in una sola riga o formula o parola, sta scritto il suo avvenire, in caratteri indecifrabili, ma che diverranno chiari 'poi': dopo il successo o l'errore o la colpa, la vittoria o la disfatta" (LEVI, 2017, p. 212).*



## RESUMO

OYAMA, A. C. **Estudos hidrológicos aplicados em projetos de urbanismo de impacto**

**reduzido:** uma terceira margem de possibilidades para a Bacia Santa Maria do Leme, em São Carlos/SP. 2019. 166 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

A cidade de São Carlos imprimiu em seu processo de urbanização lógicas que orientaram o modo de produção das cidades brasileiras de forma geral. Nesse quadro, o que se nota é a hegemonia de um conjunto de abordagens convencionais de drenagem urbana que desnaturalizaram e eclipsaram os cursos d'água e terminaram por transferir para jusante o problema das inundações. Caso as ocupações sejam pautadas apenas em técnicas que tem perturbado o ciclo hidrológico, fenômenos de inundação tendem a se intensificar cada vez mais no município, que já apresenta um histórico de convivência com as cheias, sobretudo numa porção central do território da bacia do Gregório. Como um marco, o Plano Diretor de 2016 constituiu instrumento para informar novos paradigmas para a drenagem; porém, não se mostrou suficiente diante de uma expansão urbana que se mostra inevitável, fortemente orientada pelo mercado imobiliário. É nesse contexto que o Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme (Projeto SML), idealizado por atores da sociedade civil organizada e universidades, surge como margem alternativa, buscando oferecer uma escolha distinta daquela historicamente adotada pelo município e reconhecendo a necessidade de reduzir impactos no sistema hidrológico. Em virtude de seus atributos físicos e de sua localização, o território rural da bacia hidrográfica Santa Maria do Leme é apontado, pelo Plano Diretor, como vetor de expansão urbana, o que implica alterações futuras no regime hídrico da bacia. O presente trabalho, com suporte de geotecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica, buscou contribuir com o Projeto SML através de estudos hidrológicos. Conduziram-se simulações em relação ao comportamento do sistema de drenagem da bacia estudada submetido a determinadas condições de uso e ocupação e de chuvas de projeto. Para tanto, realizou-se um estudo comparativo entre métodos de distribuição temporal de chuva amplamente utilizados no dimensionamento de projetos. Os métodos foram *blocos alternados*, *blocos sequencias do USBR*, *blocos sequencias do USBR modificado* e *Huff 1º quartil* combinados com *Hidrograma Unitário Circular de Mockus* aproximado por função tipo Gama. O primeiro método é aquele que mais carece de sentido físico e foi o que mais potencializou a vazão máxima nos hidrogramas gerados. O método Huff 1º quartil, por possuir uma base estatística mais bem fundamentada em relação aos outros modelos analisados (essencialmente empíricos), foi escolhido para avaliar diferentes cenários de urbanização na bacia Santa Maria do Leme, os quais foram (i) *atual*; (ii) *Projeto SML* e (iii) *urbanização completa da bacia*, semelhante àquela ocorrida na bacia do Gregório. Os hidrogramas referentes ao Projeto SML produziram, de forma peculiar, vazões de pico inferiores aos cenários analisados (inclusive em relação ao atual), considerando os mesmos períodos de retorno. O resultado favorável a uma urbanidade diferenciada mostrou a relevância de estudos hidrológicos, que, ao lado de cartografias complementares, mais do que instrumentos de suporte à decisão, constituem ferramentas preciosas ao se criar um espaço de debate e contestação. Neste trabalho, contribuíram para tensionar e problematizar a hegemonia de abordagens convencionais de drenagem e valores que historicamente orientaram a urbanização do município.

**Palavras-chave:** Hidrologia urbana. Projetos de urbanismo. Inundações. Geotecnologias.



## ABSTRACT

OYAMA, A. C. **Hydrological studies applied in low impact urban projects: a third margin of possibilities for the Santa Maria do Leme Watershed, in São Carlos/SP.** 2019. 166 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

The city of São Carlos printed in its urbanization process some logics that guided the way production of Brazilian cities in general. In this context, we can note the hegemony of a conventional urban drainage approaches set that have denatured and eclipsed watercourses and eventually transferred downstream the flooding problem. If occupations are based only on techniques that have changed the hydrological cycle, flood phenomena tend to intensify more and more in the municipality, which already has a history of coexistence with floods, especially in a central portion of the Gregório watershed territory. As a milestone, the Master Plan (2016) was an instrument to inform new paradigms for drainage; however, was not sufficient in the face of an urban expansion that is apparently inevitable, strongly oriented by the real estate market. It is in this context that the Low Impact Urban Project for the Santa Maria do Leme Watershed (SML Project), idealized by actors from organized civil society and universities, emerges as an alternative margin, seeking to offer a different choice from that historically adopted by the municipality and recognizing the need to reduce impacts on the hydrological system. Due to its physical attributes and its location, the rural territory of the Santa Maria do Leme watershed is indicated by the Master Plan as a vector of urban expansion, which implies future changes in the watershed's hydrological regime. This work, supported by geotechnologies, such as Geographic Information Systems, sought to contribute to the SML Project through hydrological studies. Simulations were conducted in relation to the behavior of the drainage system to certain conditions of use and occupation and of project rainfall. For this, a comparative study was carried out between rainfall distribution methods widely used in project design. The methods were *alternating blocks*, *USBR sequential blocks*, *modified USBR sequential blocks* and *Huff first quartile* combined with *Mockus synthetic unit hydrograph* approximated by Gamma type function. The first method is the one that most lacks physical sense and was the one that most potentiated the maximum flow in the generated hydrograms. The Huff first quartile method, with a better statistical basis than the other models analyzed (essentially empirical), was chosen to evaluate different urbanization scenarios in the Santa Maria do Leme watershed, which were (i) *current*, (ii) *SML Project* and (iii) *complete urbanization*, similar to that occurred in the Gregório watershed. The hydrograms related to the SML Project produced, in a peculiar way, peak flows lower than the scenarios analyzed (including in relation to the current one), considering the same return periods. The favorable result to the differentiated urbanity showed the importance of hydrological studies, which, along with complementary cartographies, are more than instruments of support decision: are valuable tools in creating a space for debate and contestation. In this work, they have contributed to stress and problematize the hegemony of conventional drainage approaches and values that have historically guided the urbanization of the municipality.

**Keywords:** Urban hydrology. Urban planning projects. Floods. Geotechnologies.





## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3. FLUXO DE FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (PARTE I).....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. À MARGEM DA URBANIZAÇÃO: UM BREVE OLHAR HISTÓRICO SOBRE AS INUNDAÇÕES .</b>	<b>19</b>
<b>3.2. RIO E CIDADE: A TRAJETÓRIA DE UM CONFLITO LATENTE.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3. UM OLHAR SOBRE O PLANEJAMENTO E SUA CONVERGÊNCIA COM O AMBIENTE CONSTRUÍDO E OS PROJETOS DE DRENAGEM URBANA.....</b>	<b>29</b>
3.3.1. A intencionalidade do planejamento e o jogo de interesses: um retrato do meio ambiente construído .....	29
3.3.2. Importação e transposição mimética de modelos externos .....	31
3.3.3. Breves considerações sobre planejamento ambiental urbano .....	32
<b>3.4. NOTAS SOBRE PRÁTICAS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS E INSTRUMENTOS LEGAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS, SP .....</b>	<b>33</b>
3.4.1. Parcelamento do solo urbano - Lei Federal nº 6.766 de 1979 (Lei Lehmann).....	34
3.4.2. Estatuto da Cidade – Lei Federal nº 10.257 de 2001.....	35
3.4.3. Contenção de enchentes e destinação de águas pluviais – Lei Estadual paulista nº 12.526 de 2007 .....	36
3.4.4. Plano Diretor do Município de São Carlos – Lei Municipal nº 18.053 de 2016 [revisão] .....	36
3.4.5. Código de Obras e Edificações – Lei Municipal nº15.958 de 2011 .....	38
3.4.6. Reservatório nos Lotes – Lei Municipal nº 13.246 de 2003 .....	38
3.4.7. Captação e aproveitamento de água da chuva - Lei Municipal nº 17.729 de 2016.....	39
3.4.8. Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos (2011).....	39
<b>3.5. UM DIÁLOGO DE EXPERIÊNCIAS: A ITÁLIA E O QUADRO NORMATIVO SOBRE A PROTEÇÃO HIDRÁULICA DO TERRITÓRIO .....</b>	<b>44</b>
3.5.1. <i>Le fasce di rispetto fluviale</i> [Faixas de respeito fluvial] .....	44
3.5.2. <i>Il Piano di bacino per l'assetto idrogeologico</i> (PAI) [Plano de bacia para enquadramento hidrogeológico].....	45
3.5.3. Âmbito normativo europeu: <i>Directive 2007/60/EC (Floods Directive, FD)</i> .....	47
3.5.4. Informações geoespaciais à serviço da sociedade .....	48
<b>4. FLUXO DE FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (PARTE II) .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS PARA MACRODRENAGEM URBANA: CONCEITOS E MÉTODOS. 54</b>	<b>54</b>

4.1.1. Período de retorno (Tr).....	54
4.1.2. Tempo de concentração (Tc) .....	56
4.1.3. Hidrogramas de projeto: considerações iniciais .....	60
4.1.4. Chuva de projeto .....	62
4.1.5. Curvas de Intensidade-Frequência-Duração (IDF) .....	63
4.1.6. Tormentas padronizadas .....	64
4.1.7. Determinação da precipitação efetiva: Método do SCS .....	65
4.1.8. Variação temporal da precipitação e hietograma efetivo.....	69
4.1.9. Métodos baseados no Hidrograma Unitário.....	73
4.1.9.1. Hidrogramas unitários sintéticos .....	75
4.1.9.2. Comparação entre o H.U.C. e o H.U.T.....	78
4.1.9.3. Aproximação do hidrograma de Mockus pela função tipo Gama .....	79
4.1.10. Processo de convolução.....	80
<b>5. UM ENSAIO POSSÍVEL: O ESTUDO DE CASO DA BACIA SANTA MARIA DO LEME .....</b>	<b>83</b>
<b>5.1. A CONSTRUÇÃO DA FORMA URBANA DE SÃO CARLOS E AS ÁGUAS URBANAS: PERSPECTIVAS PARA A BACIA SANTA MARIA DO LEME .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA BACIA SANTA MARIA DO LEME .....</b>	<b>89</b>
<b>5.3. O PROJETO DE URBANISMO SANTA MARIA DO LEME: UMA TERCEIRA MARGEM DE PROPOSTAS .....</b>	<b>92</b>
<b>5.4. DESAFIOS QUANTO À OBTENÇÃO E LIMITAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBSERVADAS .....</b>	<b>95</b>
<b>6. METODOLOGIA .....</b>	<b>99</b>
<b>7. RESULTADOS E DESDOBRAMENTOS.....</b>	<b>103</b>
<b>7.1. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>103</b>
<b>7.2. VERIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE CHEIA: APLICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO HUFF 1º QUARTIL PARA AS SUB-BACIAS.....</b>	<b>112</b>
<b>7.3. SIMULAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS DE URBANIZAÇÃO NA BACIA SANTA MARIA DO LEME.....</b>	<b>115</b>
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE A – DETALHAMENTO DAS APLICAÇÕES DO CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>133</b>

## 1. Introdução

Esta, como todas as pesquisas, contém uma certa quantidade de história. Um trabalho pode ser tanto forjado de maneira unitária quanto pode ser amadurecido pela união de esforços de múltiplas origens, como é o caso da presente monografia. A metáfora rosiana – a *terceira margem*<sup>1</sup> – compoendo o título deste trabalho encarna esses esforços e convoca uma experiência no território da cidade de São Carlos: o Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme (Projeto SML), orquestrado pela ONG Veredas e sob coordenação da Profa. Dra. Luciana Bongiovanni Martins Schenk (Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos - IAU/USP) e Profa. Dra. Renata Bovo Peres (Departamento de Ciências Ambientais - DCAM/UFSCar), e que envolveu estudantes de graduação e pós-graduação dos cursos de arquitetura e urbanismo e de engenharia ambiental e urbana, além da participação da associação de moradores de bairro do entorno, o poder público e outros interessados.

Os resultados desse projeto buscam, em especial, suscitar o debate na sociedade acerca do futuro da área da bacia Sta. Maria do Leme, sensibilizando o poder público e proprietários para um desenho que apresente uma urbanidade diferenciada em um importante fragmento da cidade de São Carlos (SCHENK, 2015), município que, do ponto de vista histórico, reflete aquilo que Costa (2006, p.10) descreve em seu estudo, isto é, a situação pendular da “cidade invadindo as águas e as águas invadindo as cidades”.

Nessa direção, o trabalho corrente busca realizar estudos teóricos de efeitos hidrológicos nessa bacia como suporte não apenas à tomada de decisão, mas sobretudo como instrumento de apoio ao debate, tendo em vista múltiplos cenários de urbanização.

Para a apresentação desta pesquisa, optou-se por uma organização textual iniciando com a problematização dos temas centrais e norteadores das questões investigadas, compoendo os capítulos 3 e 4, **Fluxo de fundamentos e revisão bibliográfica (Partes I e II)**. Nesse eixo, primeiramente constituiu-se o quadro de fundamentos sobre abordagens de planejamento que orientaram de maneira geral o modo de construção das cidades brasileiras, assim como o contexto legal e as estruturas institucionais operantes no município de São Carlos referentes ao manejo das águas pluviais; além disso, destaca como caso exemplar a Itália, país que possui um arcabouço normativo de proteção hidráulica do território já bastante consolidado.

---

<sup>1</sup> A imagem particular do paradoxo poético contido no conto de Guimarães Rosa (1962), *A Terceira Margem do Rio*, é um convite para leituras diversas sobre rios e suas margens. Este gesto metonímico conduz-nos a uma margem alternativa, ideal ou imaginada, isto é, aquilo que ainda remanesce despercebido, nublado, pressupondo uma tomada de consciência e alguns olhares mais compromissados ou mais bem intencionados para ser devidamente compreendido e conhecido.



Um quadro mais técnico relativo à base teórica dos estudos hidrológicos finaliza o eixo da revisão bibliográfica.

Em seguida, no capítulo 5, **Um ensaio possível: o estudo de caso da bacia Santa Maria do Leme**, são discutidos os conflitos das águas urbanas no município e, em seguida, caracteriza-se o território objeto de estudo e se detalha o Projeto SML.

O capítulo 6, **Metodologia**, foca-se no processo de desenvolvimento dos resultados da pesquisa, apresetando as dificuldades e considerações acerca das simulações realizadas.

No capítulo 7, **Resultados e desdobramentos**, são expostos finalmente os resultados e discussões dos estudos hidrológicos propostos, avaliando diferentes cenários de urbanização, incluindo aquele em que o Projeto SML estaria consolidado no território.

No último momento que compõe este trabalho, o capítulo 8, das **Considerações finais**, são compiladas as discussões mais relevantes de cada eixo, terminando por sugerir questões de pesquisa para trabalhos vindouros.

Cabe destacar que, iniciando a maioria dos capítulos e seções, evocam-se resíduos de leituras colecionadas ao longo desta investigação de mais de um ano. Esses fragmentos textuais constituíram-se estuário importante de reflexões para a monografia.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo geral

- Contribuir com o Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme a partir de estudos teóricos de simulações hidrológicas nesse território.

### 2.2. Objetivos específicos

- Realizar uma investigação conceitual e contextualizar lógicas e visões sobre a drenagem urbana e o controle das inundações;
- Comparar diferentes métodos de distribuição temporal de chuva amplamente utilizados na avaliação do comportamento resultante de um sistema de drenagem, definindo fragilidades, limitações e potencialidades desses métodos;
- Analisar múltiplos cenários de urbanização, em termos de respostas hidrológicas, entendidas como ferramenta de debate, suporte à decisão e contestação.





### 3. Fluxo de fundamentos e revisão bibliográfica (Parte I)

#### 3.1. À margem da urbanização: um breve olhar histórico sobre as inundações

*Eu e o rio- / à margem da urbanização, / excluídos simbolicamente / Mas sempre presentes / [...] postos à margem, / rodeados de avenidas / [...] sempre despercebidos, / [...] sempre ignorados, / a menos que o rio / verta suas águas / atrapalhando o trânsito / [...] E nesses momentos / de desinvisibilidade / eu e o rio / reconquistamos / nosso espaço / e antes que nos / recolham dali / eu rio da sociedade (CONCEIÇÃO, 2016, p. 68-70, grifo nosso).*

Entre os fenômenos naturais que há mais tempo convocam de forma dramática a interação, muitas vezes conflituosa, entre homem e seu entorno, destacam-se as inundações. Como registra Ward (1978), na literatura e na tradição de miríade de povos antigos esses eventos podem ser encontrados, em geral, enfatizando a magnitude dos desastres e os esforços insuficientes em controlar o fenômeno. Há alguns casos, porém, que iluminam uma questão considerada por vezes marginal: as cheias naturais de rios como ocorrência indispensável, especialmente quando associada a fonte de irrigação e fertilização do solo.

Nesse desdobramento histórico, provavelmente a inundação lendária mais conhecida seja a história bíblica, de origem hebraica, de Noé, salvo do dilúvio (uma imensa inundação que envolveu o mundo inteiro), causado por chuvas ininterruptas de natureza divina, ao construir e embarcar na Arca junto com a família e com animais selecionados. A partir dessa leitura, é possível estabelecer alguns paralelos interessantes entre as tradições hebraica e mesopotâmica, da qual descende, segundo Kriwaczek (2018), outros relatos similares, inclusive o próprio hebraico, escritos em línguas diversas – sumério, acádio e babilônico – e com algumas mudanças na narrativa. Na mais antiga, datada de aproximadamente 1800 a.C. e escrita pelos sumérios, primeira civilização que desenvolveu a escrita, a figura de Noé é incorporada por um rei chamado Ziusudra. Em outra, com registro em acádio, testemunha Atrahasis como protagonista. É curioso observar como esses relatos mesopotâmios destoam da Bíblia dos hebreus em um momento principal: a motivação divina em condenar a humanidade com o dilúvio. Na tradição hebraica, a razão apresentada é a imensa iniquidade entre os seres humanos. Na epopeia de Atrahasis, por outro lado, é explicado que o deus supremo Enlil decide destruir a humanidade por se cansar de uma Terra superpovoada e pela insônia causada por essa situação insustentável para ele.

Nesse quadro de tradições, essas civilizações relataram cenários crônicos muito semelhantes envolvendo, em especial, os rios Tigre e Eufrates (WARD, 1978). Esse registro é amparado inclusive pela arqueologia, a qual acena que, de fato, inundações devastaram





culturas existentes na região; porém, remanesce a dúvida se o mito do dilúvio reflete um único episódio catastrófico ou a memória de muitos desses desastres.

Inúmeras outras civilizações apresentam também registros particulares da imprevisibilidade das águas. Como escreveu Ascer (2005), a mitologia grega registra os dilúvios de Ogiges e Deucalião, e Platão escreve sobre a inundação que devastou Atlântida. As escrituras antigas de hindus, persas, escandinavos, assim como de chineses e indonésios também relatam suas imensas inundações decorrentes de chuvas torrenciais ou da elevação de rios e mares. Diversos povos americanos possuem a sua própria história em relação a esse evento desastroso: os astecas do México, os maias da Guatemala, os incas dos Andes, os hopis da América do Norte, entre outros.

De fato, o homem tem respondido às inundações desde muito antes da narrativa de Noé ser registrada e, apesar disso, é um fenômeno não completamente compreendido pela hidrologia (WARD, 1978). Essa convivência com episódios de inundação pode ser, em alguma medida, analisada à luz da trajetória de formação dos núcleos urbanos em geral. Como escreve Noll (2007), a história está diretamente impregnada por um relacionamento contínuo com as fontes de recursos hídricos.

Os rios constituem um dos elementos naturais que há mais tempo integram e interagem com os espaços humanizados, vinculado-se com a própria formação dos territórios e com a fundação da maior parte das cidades no mundo (BARTALINI, 2006).

A lógica norteadora de inúmeras civilizações antigas na seleção do sítio para estabelecer suas aldeias foi a proximidade da água, quer seja por razões funcionais, estratégicas, culturais ou patrimoniais. A Mesopotâmia, por exemplo, como o nome já explicita, foi construída entre os rios Tigre e Eufrates, e há também as cidades egípcias nas imediações do Nilo, as cidades da civilização greco-romana, junto à bacia do Mediterrâneo e ao rio Tibre, as civilizações orientais nas imediações do Himalaia, as cidades medievais europeias – Londres, ao longo do rio Tâmis; Paris, ao longo do Sena; Viena, ao longo do Danúbio; Praga, ao longo do Vlatva (GORSKI, 2008, p. 26).

A vila de São Paulo, um outro exemplo, fundada em 1554, estabeleceu-se em um promontório entre os rios Tamanduateí e Anhangabaú, em sítio próximo ao rio Tietê, e por lá permaneceu concentrada por quase três séculos (KAHTOUNI, 2004).

Nessa perspectiva de congruência com os cursos d'água, como ressalta Ward (1978), muitos casos de aproveitamento e adaptação de povos em relação ao regime natural de cheias podem ser observados na história. A civilização egípcia constitui uma das mais notáveis referências nesse sentido, para a qual as cheias do rio Nilo têm sido o pilar do sucesso de

irrigação agrícola por mais de 5000 anos. Conforme Biswas (1970), não por acaso o calendário egípcio, primeiro na história a apresentar 365 dias, ancorava-se fundamentalmente no ciclo de inundações anuais do Nilo, com registros de nível de cheia datando de 3000 a 3500 a.C.; e uma das mais antigas barragens existentes no mundo para controle dessas cheias, localizada no Cairo, foi construída pouco depois do início do segundo milênio antes de Cristo.

Além do recurso água, os rios, ao longo dos tempos, ofereciam múltiplas formas de relações de cumplicidade com a cidade: referenciais e demarcadores territoriais, fonte de recursos, relevante espaço para circulação de pessoas e bens, geradores de energia hidráulica, corredores biológicos e espaços livres públicos de convívio coletivo e lazer (COSTA, 2006).

Spirn (1995) ainda lembra que, à preocupação com a abundância e controle da água, a humanidade deve alguns dos maiores monumentos arquitetônicos e algumas das mais impressionantes obras de engenharia. Basta direcionar o olhar para os aquedutos de Roma (Figura 3.1) e Nîmes, os qanâts da Pérsia e os moinhos de vento dos Países Baixos (Figura 3.2).

Figura 3.1 – Parco degli Acquedotti, Roma: parque público que contempla dois notáveis aquedutos antigos e bem preservados, canais que eram utilizados para conduzir água para as cidades.



Fonte: próprio autor.

Figura 3.2 – Parque linear em Kinderdijk, Países Baixos. Local considerado Patrimônio da Humanidade pela UNESCO em 1997, contempla 19 moinhos de vento tradicionais, símbolos de controle de água dos holandeses. A Holanda, um dos países mais densamente povoados do planeta, com cerca de 60% do território abaixo do nível do mar (e, portanto, vulnerável à inundação), vem combatendo as cheias há mais de mil anos, quando agricultores construíram os primeiros diques e, desde o século XIV, o sistema de moinhos de vento tem bombeado a água do solo para o mar ou rios.



Fonte: próprio autor.

De fato, como Raymond Williams observou, “a ideia de Natureza [especialmente quando associada aos rios] contém, muitas vezes despercebida, uma quantidade extraordinária de história humana” (WILLIAMS, 1980, p. 67, tradução nossa).

Diante desse olhar retrospectivo, que oscila de conflitos a momentos de cumplicidade com os rios e as inundações, é necessário lançar luz a um dos principais desdobramentos deste trabalho: as inundações não se configuram como *desastres naturais*. Como escreve Ward (1978), deveria estar muito claro, especialmente no campo do planejamento, que as inundações são *fenômenos naturais* e constituem parte da ocorrência natural do fluxo dos rios. Os *desastres provocados pelas inundações*, por outro lado, constituem-se a partir de ações e consequências de natureza particularmente antrópica, em que o próprio homem se coloca em risco ao ocupar e desenvolver atividades ao longo das várzeas dos rios.

Uma investigação desse cenário, especialmente à luz do planejamento da drenagem urbana, é esboçada cautelosamente a seguir em um breve quadro sobre a situação das águas urbanas nas cidades brasileiras em geral.

### 3.2. Rio e cidade: a trajetória de um conflito latente

*O mundo meu é pequeno, Senhor.  
Tem um rio e um pouco de árvores.  
Nossa casa foi feita de costas para o rio.*  
(BARROS, 2013, p. 291).

Manoel de Barros, com um olhar aguçado que lhe é particular, escreve esses versos norteadores. A força dessa imagem – a casa de costas para o rio – convoca uma cena persistente na realidade urbana: a situação na qual a água, apesar de sempre presente no tecido urbano, está cada vez mais invisível aos olhos da população.

No contexto das cidades, o tratamento dado aos rios pelas obras convencionais de engenharia hidráulica, por intermédio de retificações e canalizações, que alteram sua fisionomia, muitas vezes revestindo seu leito com calhas de concreto, e retiram sua visibilidade ao aterrá-los, tem como base conceitual a aceleração do escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para cursos d’água a jusante. Trata-se do olhar higienista ainda muito reiterado pelos responsáveis pela drenagem de águas pluviais (CANHOLI, 2005). Como escreve Spirn (1995, p. 146):

Cobertos e esquecidos, antigos cursos d’água ainda correm através da cidade, enterrados sob o solo em grandes tubulações [...]. Seu ruído abafado pode ser ouvido sob as ruas após uma chuva pesada; eles são invisíveis, mas sua contribuição potencial às enchentes a jusante não é, todavia, diminuída [...].”

É pertinente registrar a origem dessa visão. No século XVI, durante o Renascimento, foram articuladas de forma incipiente as primeiras práticas para controle sanitário, as quais envolviam obras de canalização dos corpos d’água, que eram, de fato, “cobertos e esquecidos” ao se transformarem em sistemas de esgoto sanitário (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Vale sublinhar que há de fato uma trajetória histórica para que a expressão *corpo receptor* seja amiúde utilizada hoje, especialmente no meio técnico, para se referir aos rios, ainda associados (e usados em algumas realidades) como receptores de esgoto e resíduos. Daí deriva também parte de sua desvalorização atual.

A partir do século XIX, diante do crescimento da população e da produção nos espaços urbanos, atrelado aos precários sistemas sanitários, surtos epidêmicos de cólera e tifo se propagaram pela Europa. A busca por melhor qualidade de saneamento básico foi impulsionada com a descoberta de tecnologias concebidas à luz do positivismo, estabelecendo o palco para esta abordagem que seria então denominada *higienismo*, no qual o sistema de águas urbanas é desnaturalizado, tendo como base projetual o afastamento rápido dos



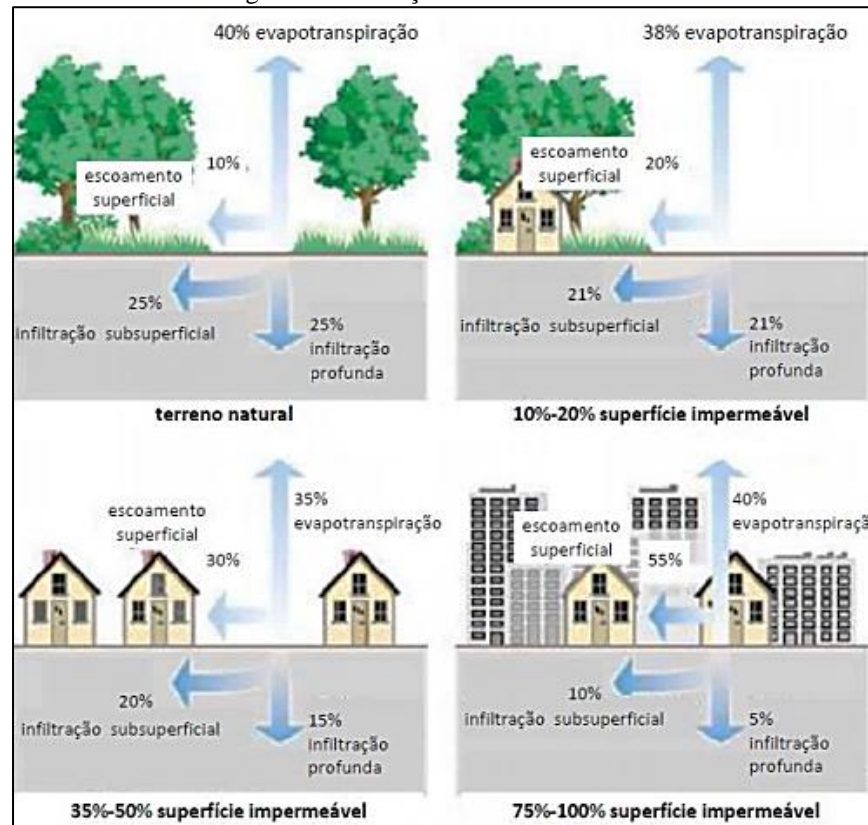
efluentes ao mesmo tempo em que o curso d'água é isolado das áreas de circulação de transportes e pessoas, visando o conforto ambiental (HERZOG, 2013). Diante desse conceito, como alerta Spirn (1995), os sistemas de drenagem de águas pluviais que seguem essa abordagem a exemplo dos esgotos sanitários apenas mudam a localização da água (isto é, somente a transportam de um ponto a outro); não reduzem nem eliminam a água, e terminam por exigir a necessidade contínua de ampliação dos próprios sistemas convencionais. Em outros termos, hoje se reconhece que esses projetos tradicionais, apesar de conduzirem melhorias localizadas em períodos de inundações mais frequentes, em muitos casos, transferem para jusante o problema e intensificam a situação das enchentes mais fortes e excepcionais.

No entanto, a eficácia localizada dessas abordagens em reduzir problemas sanitários crônicos até meados do século XX cristalizou seus conceitos enquanto prática presente nos projetos para águas pluviais. Com a intensificação do processo de urbanização e da expansão territorial, sobretudo no decorrer do século XX, as transformações resultantes sobre bacias hidrográficas<sup>2</sup> e processos de ciclos hidrológicos (Figura 3.3), especialmente em função da impermeabilização da área de drenagem, combinadas aos produtos da engenharia convencional e a carência de uma legislação e uma fiscalização que garantissem o disciplinamento adequado do uso e ocupação do solo, os problemas de alagamentos e inundações foram se acentuando e se tornando cada vez mais presentes em áreas urbanas (Figura 3.4). Nesse cenário, ocorreu um significativo aumento nos custos envolvidos com obras de infraestrutura, assim como nos prejuízos materiais causados pelas inundações (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011; RIGHETTO, 2009).

---

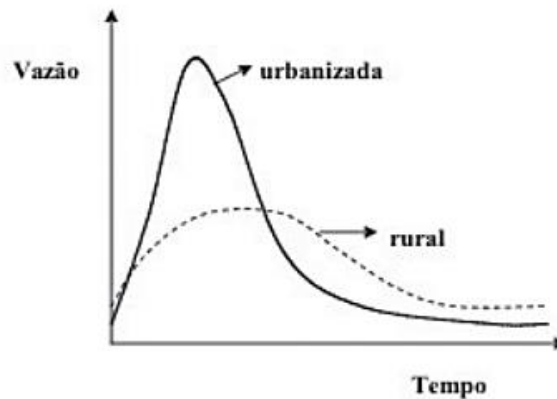
<sup>2</sup> A *bacia hidrográfica* de um rio é a área de drenagem que contém o conjunto de cursos d'água que convergem para esse rio principal até a seção considerada (PORTO; PORTO, 2008); é limitada em superfície pelos divisores de água, isto é, pelos pontos mais elevados do terreno e que separam bacias adjacentes.

Figura 3.3– Evolução da impermeabilização superficial e alteração da dinâmica das parcelas do ciclo hidrológico e do balanço hídrico na bacia.



Fonte: Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group - FISRWG<sup>3</sup> (2001 *apud* CARDOSO, 2008).

Figura 3.4 – Comparação de hidrogramas (representação gráfica da variação da vazão ao longo do tempo numa dada seção do curso de água) correspondentes a uma bacia rural (linha tracejada) e em seguida urbanizada (linha cheia).



Fonte: Tucci (2008).

<sup>3</sup> FISRWG (FEDERAL INTERAGENCY STREAM CORRIDOR RESTORATION WORKING GROUP). **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices**. Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group, 2001.



Esse contexto narrado é destacado pela literatura: Canholi (2005), Righetto (2009), Spirn (1995), Ward (1978), entre tantos outros. Nas palavras de Spirn (1995, p. 146-147):

As enchentes crescem em volume e destruição com o desenvolvimento urbano; a urbanização pode aumentar a taxa média anual de enchentes cerca de seis vezes. Isso é causado pela rápida drenagem das enxurradas e pelas várzeas mais estreitas e mais rasas, comprimidas por prédios e diques e entupidas por sedimento. [...] [Em outras palavras,] com as várzeas dos cursos d'água ocupadas e apertadas entre edifícios, ruas, diques e comportas, as enchentes resultantes são maiores, fluem mais rapidamente e são mais destrutivas do que as enchentes provocadas por tempestades semelhantes antes da urbanização.

Diante desse percurso discutido, é oportuno considerar um aspecto imediato associado à invasão de áreas de várzeas e a impermeabilização do terreno: a supressão das matas ciliares. Spirn (1995) lembra que rios e várzeas, áreas nas quais os rios se movimentam, e nas quais transbordam com certa regularidade, devem ser compreendidos como uma *unidade*. Em outros termos, como escreve Ward (1978), rios e várzeas são complementares e inseparáveis e juntos formam o espaço para a propagação natural das cheias. A supressão da mata ciliar compromete a capacidade do rio de conter essas cheias, além de deixar de proteger o solo contra a lixiviação e erosão, e não mais assegurar a proteção das margens dos rios, engendrando o assoreamento.

Diante desse quadro de conflitos latentes, o processo de expansão do espaço urbano foi cada vez mais eclipsando e nublando os corpos d'água, reduzindo a presença deles a sintomas dramáticos e depreciáveis: receptáculo de resíduos e esgoto, odor desagradável, veículos de doenças, obstáculo à circulação e ameaça periódica de inundações. Como aponta Ghilardi e Duarte (2006), o rio muitas vezes vai perdendo importância à medida que as intervenções sobre seu curso vão se estabelecendo, sendo amparado pelo discurso da contenção das cheias.

A percepção desvirtuada do rio em relação a seus fluxos naturais e a suas possíveis funções urbanas, como as de natureza social e cênica, termina por instaurar uma perspectiva de estranhamento e até mesmo dissolve o vínculo entre população e sistemas de drenagem e fundos de vale. Os questionamentos de Franco (2000, p. 264-265) reforçam essa discussão:

Nesse raciocínio, pergunto como é possível o cidadão comum valorizar a água ou mesmo um rio se os modelos vigentes de urbanização tendem a escondê-los cada vez mais? Ou mesmo se a visualização e o contato com um rio de águas límpidas ficam cada dia mais abstratos para uma criança ou cidadão comum, mesmo porque essas imagens fazem parte apenas da realidade virtual oferecida pelos canais de comunicação. Como é possível um rio ser limpo com pistas expressas de rolamento

coladas a ele (o caso das avenidas marginais)? Ou com parques cada dia mais estrangulados e invadidos pelo sistema viário atrelado ao domínio do transporte rodoviário [...]?

Para enquadrar essa narrativa, o desenvolvimento histórico da abordagem sobre as águas urbanas é reproduzido de forma breve na Tabela 3.1, sendo segmentado em quatro momentos principais.

Tabela 3.1 – Fases da abordagem sobre as águas urbanas no mundo.

FASE	CARACTERÍSTICA	CONSEQUÊNCIA
<b>Pré-Higienista</b> Até início do séc. XX	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento.	Difusão de epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade.
<b>Higienista</b> Até os anos 1970	Tout à l'égout - Transporte do esgoto junto das águas pluviais por meio de canalização.	Redução de doenças e mortalidade; maior conforto ambiental; degradação dos corpos d'água; contaminação dos mananciais.
<b>Corretiva</b> Entre 1970 e 1990	Sistema “separador absoluto” de esgoto e águas pluviais; tratamento de esgoto; amortecimento de escoamentos das águas pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios; poluição difusa; obras de grande impacto e custo.
<b>Desenvolvimento Sustentável</b> Após 1990	Tratamento do escoamento pluvial; preservação do sistema natural; integração institucional com outros planos.	Conservação ambiental; melhoria da qualidade de vida; controle de inundações.

Fonte: modificado de Tucci (2005).

Na atual fase, enquanto que em países mais desenvolvidos a ênfase nas questões de drenagem urbana se concentra nos aspectos relativos à *qualidade* da água coletada, com práticas vinculadas ao controle das inundações e arcabouço de dados públicos em geral já muito adiantados (basta verificar, por exemplo, a realidade das informações sobre esse fenômeno no território da Itália, detalhada na seção 3.5), no Brasil, o controle *quantitativo* das enchentes ainda remanesce como o principal objetivo das ações (RIGHETTO, 2009). Como discute Tucci (2008), diante do cenário da maior parte das cidades brasileiras, em que muitas ainda não contam com completo sistema “separador absoluto” de esgoto e águas pluviais (Figura 3.5), pode-se considerar que o país resiste em permanecer na fase higienista.





Figura 3.5 – Registro de fotos (26/01/2019) realizado junto ao grupo Práticas de Ensino, Pesquisa e Extensão em Urbanismo (PExURB) do IAU/USP, no bairro Jardim Nova Esperança (Favela do Banhado), localizado no centro urbano de São José dos Campos. Em destaque, a desigualdade socioambiental refletida no espaço: pontos de descarga de esgoto doméstico em canais de água, num bairro com ausência de serviços de saneamento básico.



Fonte: próprio autor.

A frequência e a gravidade das inundações em algumas cidades e regiões metropolitanas, como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Campinas e São Carlos, objeto deste estudo, apontam para a necessidade de buscar soluções alternativas estruturais e não estruturais, as quais serão detalhadas em breve, e inclusive de compreender de modo mais rigoroso a fenomenologia climatológica, ambiental, hidrológica e hidráulica do problema, ademais dos seus componentes sociais, atrelados à habitação, saúde e saneamento, e político-institucionais (RIGHETTO, 2009).

No entanto, as medidas tradicionais de mitigação são muitas vezes contraproduativas sobretudo se não fizerem parte de um plano global que leve em consideração o sistema hidrológico de toda a cidade e de sua região; devem ser, nesse sentido, articuladas junto a planos e infraestruturas necessárias para o desenvolvimento urbano.

### 3.3. Um olhar sobre o planejamento e sua convergência com o ambiente construído e os projetos de drenagem urbana

*Do rio que tudo arrasta se diz que é violento.*

*Mas ninguém diz violentas*

*As margens que o comprimem.*

(BRECHT, 1973)

Nesta seção, busca-se inocular um olhar de problematização à luz de um trabalho germinal desenvolvido pelo autor<sup>4</sup>, apresentando considerações acerca da neutralidade questionável do planejamento, o jogo de interesses do mercado imobiliário, uma breve leitura da importação mimética de lógicas externas aplicadas em projetos, especialmente de drenagem, e, por fim, um quadro síntese do planejamento ambiental hoje.

#### 3.3.1. A intencionalidade do planejamento e o jogo de interesses: um retrato do meio ambiente construído

A palavra *planejamento* carrega, no interior de seu valor semântico, o sentido de *empreendimento, projeto, sonho e intenção* (FRANCO, 2000). Como empreendimento e projeto, revela a ação de intervir ou de transformar uma dada situação, direcionando-a a uma determinada intenção a ser concretizada. Como intencionalidade, o planejamento explicita, de certa forma, os valores, o olhar, a ideologia de quem o propõe e que, de algum modo, se impõe sobre algo, tendo em vista metas rígidas a serem atingidas (FRANCO, 2000). É nessa leitura que se pode dizer que as cidades, sobretudo os espaços destinados às atividades hegemônicas, são o retrato de uma intencionalidade que presidiu à sua criação (SANTOS, 1994); intencionalidade que muitas vezes se configura como exigente e exclusiva, e que pode se constituir com objetivos parciais de uma heterogeneidade de setores hegemônicos da economia, da cultura e da política. Em sua inquietante obra, Jacobs (2000, p. 5) pondera que, no campo do planejamento urbano,

[...] nenhum outro aspecto da nossa economia e da nossa sociedade tem sido mais intencionalmente manipulado por todo um quarto de século com o fim de atingir exatamente o que conseguimos. Tem-se exigido um volume extraordinário de incentivos financeiros governamentais para obter esse nível de monotonia, esterilidade e vulgaridade.

Não se pode perder de vista que o grau de degradação e de desnaturalização de muitos cursos d'água se inscreve nessa leitura das cidades. É diante dessa perspectiva que talvez se

---

<sup>4</sup> Oyama (2015)



possa afirmar que muitas cidades cresceram “para atingir um ambiente construído fisicamente complexo, caótico, maltratado, de desrespeito aos recursos naturais [...]”; uma “cidade dividida, segmentada entre ricos e pobres e entre cidadãos e não-cidadãos” (SOUZA, 2001, p. 83). Ou, como escreve Santos (1994, p.71), uma cidade “cheia de intencionalidades”.

Nesse contexto, destaca-se a poderosa atuação do mercado imobiliário, na figura dos empresários, dos grandes proprietários de terras, que pressionam, disputam e informam ativamente o poder público na definição dos rumos da urbanização. Em outras palavras, esses agentes assumem, muitas vezes de forma arbitrária, o controle das diretrizes de desenvolvimento urbano municipais.

Reis (2006) exemplifica essa postura de dedicação quase exclusiva ao empresariamento urbano, que tanto discute Harvey (1996) e que muitas cidades têm assumido:

Utilizando grandes áreas no interior do tecido urbano já existente (em grandes terrenos não ocupados ou em áreas de renovação urbana) ou glebas isoladas, fora do tecido urbano e sobretudo as mais afastadas, constituindo formas de urbanização dispersa, os empresários têm a possibilidade de promover um jogo importante com o valor dos terrenos. Comprando áreas maiores, a baixo preço, com um *mix* adequado de modalidades de utilização podem fazer com que as formas de ocupação de alguns terrenos terminem por valorizar extraordinariamente os remanescentes, de modo que o conjunto possa ser comercializado, a curto prazo, com valores elevados. É como se os empresários pudessem realizar, em poucos anos, a valorização que o adensamento de usos provoca nos tecidos tradicionais, ao longo de um século. Assim, os empresários são levados a promover um conjunto de usos que crie novos ‘centros’ com alta densidade e valor, em locais anteriormente desocupados ou degradados. Esses empresários conseguem meios de controlar o processo de valorização do solo urbano, pelo controle dos usos. Essas mudanças invertem o sentido dos procedimentos recomendados pelos planejadores urbanos, ao longo dos últimos 50 anos, para controle das ações da iniciativa privada, já que nas novas situações são os empresários que exercem o controle (REIS, 2006, p. 159-160).

Nessa medida, constata-se que interesses moldam e movem o território. De fato, com certa frequência, a política de expansão urbana pode excluir os cidadãos dos processos de decisão, transferindo a responsabilidade da terra e da moradia ao poder privado, ou seja, às pressões dos empresários, do setor imobiliário e da indústria de construção civil.

### 3.3.2. Importação e transposição mimética de modelos externos

A secular tentativa de importação de uma cultura ou lógica exterior não atenta ao meio no qual se inscreve continua evidente em interstícios do meio acadêmico, em modelos projetuais, entre tantos outros campos. Como escreve Holanda (1936, p. 31), permanecemos, ainda hoje, inertes e conformados, “uns desterrados em nossa terra<sup>5</sup>”.

Santos (1994, p. 70) registra esse momento na evolução das cidades:

Crescidas numa era de relativo esplendor, o planejamento, a construção, o uso dessas aglomerações eram consequentes dessa lógica [externa] e dela (a cidade) retiravam seiva, vigor, beleza, capacidade renovadora das coisas e das práticas. [...] Quanto mais os países se modernizam e crescem, mais as grandes cidades associam lógicas externas e lógicas internas subordinadas. Por isso são cidades críticas desde o seu nascimento [...]. Nessas aglomerações pós-iluministas, a lei do novo é também a da conformidade e do conformismo.

Nesse sentido, o planejamento urbano, sobretudo quando obediente ou subordinado aos parâmetros de cidades e lógicas internacionais, termina por estabelecer condições de uma modernização irreal ou pouco adaptável à realidade em estudo e que, em muitos casos, adquire relevo para um cenário no qual se negligencia o meio físico e humano, resultando em cidades não funcionais. Talvez seja nesse entendimento que se pode interpretar a afirmação de Santos (1994, p. 70), segundo a qual “no Terceiro Mundo, as cidades destinadas a ser grandes crescem rapidamente e rapidamente se transformam em necrópoles, se já não nascem assim”.

Dado que o que se observa é uma propagação desigual das *técnicas*, a adoção no Brasil das conclusões de estudos sobre assuntos elaborados em outros países – ou mesmo as que envolvem regiões do próprio país – sem uma investigação e discussão cuidadosa é um procedimento inaceitável e, muitas vezes, desastroso.

Historicamente, até meados da década de 1950, como escreve Righetto (2009), não existia no Brasil uma cultura própria na engenharia que fizesse frente aos problemas associados à urbanização. Não havia, em especial, estudos no país que conduzissem o desenvolvimento de uma hidrologia urbana capaz de adaptar conceitos e técnicas para a realidade regional. Dessa forma, prevaleceu a incorporação mimética de métodos e de soluções de baixo custo, lançando mão de técnicas de engenharia convencionais sem a devida

<sup>5</sup> “A tentativa de implantação da cultura europeia em extenso território, dotado de condições naturais, se não adversas, largamente estranhas à sua tradição milenar, é, nas origens da sociedade brasileira, o fato dominante e mais rico em consequências. Trazendo de países distantes nossas formas de convívio, nossas instituições, nossas ideias, e timbrando em manter tudo isso em ambiente muitas vezes desfavorável e hostil, somos ainda hoje uns desterrados em nossa terra. Podemos construir obras excelentes, enriquecer nossa humanidade de aspectos novos e imprevistos, elevar à perfeição o tipo de civilização que representamos: o certo é que todo o fruto de nosso trabalho ou de nossa preguiça parece participar de um sistema de evolução próprio de outro clima e de outra paisagem” (HOLANDA, 1936, p. 31).



validação local, mostrando-se, como se constatou, ineficientes e até mesmo catastróficos em alguns casos.

### **3.3.3. Breves considerações sobre planejamento ambiental urbano**

O olhar para a noção de planejamento ambiental e regional surgiu somente na década de 1930, a partir dos estudos de modelagem de recursos hídricos e bacias hidrográficas com repercussões em seu planejamento e gestão, sendo conduzidos por engenheiros de recursos hídricos como Saturnino de Brito. À luz deste movimento de cunho conservacionista e fortemente pautado nos recursos hídricos é que foram instaurados os primeiros dispositivos legais sobre a questão ambiental no Brasil do século XX, com o Código das Águas, o Código Florestal e a Lei de Proteção à Fauna (SANTOS, 2004).

Na base do conceito de planejamento ambiental está a integração interdisciplinar destacada por Franco (2000, p. 35), para a qual o define como:

todo o planejamento que parte do princípio da valoração e conservação das bases naturais de um dado território como base de auto-sustentação da vida e das interações que a mantém, ou seja, das relações ecossistêmicas. [...] [E, para isso,] emprega como instrumentos todas as informações disponíveis sobre a área de estudo, vindas das mais diversas áreas do conhecimento, bem como as tecnologias de ponta que possam facilitar o seu meio principal de comunicação e de projeto que é o Desenho Ambiental.

No entanto, apesar desses pressupostos conceituais, é recorrente, como avalia Spirn (1995), que as problemáticas das enchentes, drenagem, poluição, ocupação do solo, uso e abastecimento de água, entre outras questões, são tratadas de maneira separada. As propostas de ações são normalmente específicas e pontuais, e a articulação entre diversas disciplinas muitas vezes não ocorre. Os profissionais terminam por utilizar em muitos casos métodos próprios das suas formações para conduzir os estudos, com frágil embasamento em modelos ecológicos (FAUSTINO, 2017). E, em consonância, Hough (2002) questiona o modo resistente de perceber a cidade nesses estudos: olha-se a cidade como um elemento dissociado dos fluxos naturais. Somam-se a essas leituras medidas e planos reconhecidamente temporários; projetos episódicos, com horizonte de curto prazo, e desconexos entre si.

Diante dessa narrativa desenvolvida, ilumina-se uma questão essencial: o quadro da drenagem urbana no país não é uma eventualidade; durante séculos a drenagem urbana foi abordada de maneira acessória, à margem do processo de urbanização, muitas vezes chegando por último no processo do planejamento territorial, terminando por incorporar as várzeas dos

rios ao sistema viário, com projetos muito mais dispendiosos (CANHOLI, 2005; RIGHETTO, 2009).

### **3.4. Notas sobre práticas de manejo de águas pluviais e instrumentos legais no município de São Carlos, SP**

*O manejo de águas pluviais urbanas corresponde ao conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem, transporte, detenção ou retenção de águas pluviais, tendo em vista o amortecimento de vazões de cheias, o tratamento e a disposição final das águas pluviais drenadas em sintonia com ações de planejamento e gestão da ocupação do território urbano - Lei Federal nº 11.445 de 2007 (BRASIL, 2007).*

Nesta varredura, foram consultadas legislações nos níveis federal, estadual e municipal pertinentes à gestão de águas pluviais e que se encontram em voga no município de São Carlos. Para a análise desse arcabouço legal e da gestão pública municipal, cabe destacar a articulação de três escalas de intervenção, conforme destaca Faustino (2017):

- *Gestão do sistema municipal de águas pluviais*: escala que avalia o sistema de águas pluviais de forma global na perspectiva de bacias hidrográficas. Deve integrar-se com as políticas de desenvolvimento urbano e articula as demais escalas de intervenção. Envolve, por exemplo, projetos de canais, intervenções em rios urbanos e obras secundárias como bueiros, galerias, bocas-de-lobo, etc.

- *Gestão das intervenções a nível de bairro e sub-bacias*: escala na qual são definidas diretrizes de ocupação do território a ser urbanizado, além de trazer orientações de projeto aos novos parcelamentos e observar a correta implantação dos dispositivos responsáveis pela eficiência do sistema de manejo de águas pluviais.

- *Gestão local e descentralizada de águas pluviais*: escala de intervenção das ações sobre lotes e edificações, necessitando de infraestrutura adequada do sistema de manejo de águas pluviais e dos dispositivos complementares, conjunto que promoverá a captação, tratamento, uso e infiltração das águas no local.

Nessa perspectiva, merece igualmente atenção dois conceitos complementares.

- *Medidas estruturais*: obras de engenharia para a redução do risco de inundações por meio do armazenamento temporário do volume escoado, intervindo sobre a bacia ou sobre o sistema fluvial (TUCCI, 2002), e permite inclusive o tratamento da água. Em outros termos, esses sistemas possibilitam o controle quali-quantitativo da vazão gerada na bacia.



- *Medidas não estruturais*: são complementares às medidas estruturais; não contempla obras civis, mas envolve ações de natureza social para alterar padrões de comportamento da população por intermédio de meios legais, sanções econômicas, programas educacionais, além de regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis, e sistema de previsão e alerta. Essas ações podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizonte de atuação mais longo (CANHOLI, 2005).

### **3.4.1. Parcelamento do solo urbano - Lei Federal nº 6.766 de 1979 (Lei Lehmann)**

A despeito de a promulgação ter ocorrido décadas antes do estabelecimento das bases vigentes da Política Urbana brasileira (que trouxe a discussão da função social da propriedade e da cidade), protagonizada pelo Estatuto da Cidade<sup>6</sup>, foram introduzidas alterações ao texto da lei em questão. Dessa forma, houve um processo de ajustes e permanências de fragilidades em relação ao conteúdo da lei, aparecendo, por exemplo, no uso do conceito de “escoamento de águas pluviais” (art. 2, 3 e 7), tradicionalmente vinculado à concepção de drenagem urbana, ao invés de uma abordagem abrangente como o “manejo de águas pluviais”, a qual incentiva práticas de captação, tratamento, uso e infiltração das águas. É o caso de proibir o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações (art. 3), mas permitindo-o uma vez adotadas medidas para o escoamento das águas. Como avalia Faustino (2017), deveria haver uma maior restrição para a ocupação de terrenos alagadiços, tendo em vista a proteção ecológica e a segurança da população contra inundações. Esses espaços poderiam ser destinados à instalação de dispositivos de manejo das águas pluviais, como *wetlands* construídos.

Uma das grandes potencialidades (e uma das grandes inovações) nas disposições da lei é permitir ao poder público definir para o loteador as diretrizes de uso do solo, do desenho dos lotes, do sistema viário, dos espaços livres e das áreas reservadas para equipamento urbano e comunitário (art. 6), além de apresentar a localização de elementos como: traçado viário, equipamentos urbanos e áreas livres de uso público, faixas sanitárias para escoamento de águas pluviais e áreas não-edificáveis (art. 7). Essas diretrizes podem ser cristalizadas por meio de coeficientes urbanísticos e edfícos, mas também possibilitam uma abordagem na concepção de um desenho de projeto e especificações técnicas de modo mais integrado em pressupostos coletivamente pactuados.

---

<sup>6</sup> O Estatuto da Cidade será analisado na subseção seguinte, 1.6.2.

Sobre as Áreas de Preservação Ambiental (APP) urbanas, a lei específica, em seu artigo 4º, que ao longo dos cursos hídricos seja salvaguardada uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica (BRASIL, 2004). Nesse sentido, a lei tem sua importância para proteção e estabilidade dos canais, melhoria da qualidade das águas, e provisão de habitat para fauna e flora. Representa também um contraponto ao tamponamento dos cursos d'água e ocupação das margens por vias e edificações, práticas amplamente realizadas em diversos córregos e rios urbanos nas cidades brasileiras ao longo do século XX.

Além disso, a lei impõe outras restrições de ocupação, considerando a garantia prioritária da segurança humana: “em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados”; “em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes”; “em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação”; “em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção” (BRASIL, 1979).

### **3.4.2. Estatuto da Cidade – Lei Federal nº 10.257 de 2001**

O Estatuto da Cidade, lei que estabelece a Política Urbana do Brasil, reforça as determinações presentes na Lei Lehmann e regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, concebendo normas de ordem pública e de interesse social fundamentadas no uso da propriedade urbana em defesa do bem coletivo, da segurança, do bem-estar humano e do equilíbrio ambiental. Além do estabelecimento da obrigatoriedade dos Planos Diretores (leis municipais exigidas para cidades com mais de 20 mil habitantes) e da gestão democrática da cidade, o Estatuto propôs a implantação de uma diversidade de instrumentos que desempenham funções urbanísticas variadas, como aqueles associados à indução do desenvolvimento urbano e outros inclinados à regularização fundiária (MESQUITA, 2008, p. 65).

Nesse quadro, os Planos Diretores exigem especial atenção, uma vez que a eles são atribuídos o desafio de direcionar mecanismos que encontrem soluções, à luz do contexto de cada cidade, para impasses e dramas urbanos, como aqueles envolvendo a regularização fundiária em APP situadas em perímetro urbano e ocupações de áreas de risco. Porém, como escreve Tucci (2008, p. 105),

[...] no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades, geralmente não existe nenhuma restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundação; a





sequência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários desmembre essas áreas para ocupação urbana.

Sepe, Pereira e Bellenzani (2014) completam que a política urbana instituída pelo Estatuto da Cidade reconhece o direito a cidades sustentáveis, considerando explicitamente diretrizes para o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, destacando-se: i) o planejamento de medidas para evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; ii) a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a poluição e a degradação ambiental e a exposição da população a riscos de desastres; iii) a adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência; iv) a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico.

### **3.4.3. Contenção de enchentes e destinação de águas pluviais – Lei Estadual paulista nº 12.526 de 2007**

Condiciona a implantação de estruturas para captação e retenção de águas pluviais nos lotes que tenham área impermeabilizada maior que 500 m<sup>2</sup>, estejam eles edificadas ou não (SÃO PAULO, 2007). Busca a redução da sobrecarga hidrológica nas bacias altamente urbanizadas, visando minimizar a ocorrência de inundações e prover alternativas ao abastecimento de água potável (art. 1).

A lei estabelece a aprovação de licenças no âmbito do estado de São Paulo para parcelamentos do solo e desmembramentos de empreendimentos, além da necessidade de implantação de reservatórios e o emprego de pisos drenantes em 30% da área de estacionamentos e similares.

### **3.4.4. Plano Diretor do Município de São Carlos – Lei Municipal nº 18.053 de 2016 [revisão]**

Principal instrumento de gestão urbana do município de São Carlos e primeira revisão do Plano Diretor de 2005, o qual era constituído a partir das bases sustentadas pelo Estatuto da Cidade, e representou um notório marco de ordenamento territorial, especialmente quanto à aprovação e controle do uso e ocupação do solo urbano.

A lei sustenta princípios como a função social da cidade, função social da propriedade e direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (SÃO CARLOS, 2016a). Também

condiciona o cumprimento da função da propriedade ao seu aproveitamento e uso e ocupação compatíveis com a preservação, a recuperação, e a manutenção ou melhoria da qualidade do meio ambiente, entendidos como controle da poluição ao ar, da água, do solo, da destinação dos resíduos, da fluidez de drenagem das águas pluviais e corpos d'água, a maior permeabilidade do solo e a maior preservação da sua cobertura vegetal (art. 2, inciso III, parágrafo 7).

Os instrumentos da política urbana propostos pelo Plano Diretor são os mesmos do Estatuto da Cidade, sendo incrementados pelas Áreas de Especial Interesse Social (AEIA), direcionadas (i) à proteção e recuperação dos mananciais, nascentes e corpos d'água; (ii) à preservação de áreas com vegetação significativa e paisagens naturais notáveis; e (iii) às áreas de reflorestamento e conservação de parques e fundos de vale (art. 72).

Para além das Áreas de Preservação Permanente, regradas pela Lei Federal 12.651 de 2012, o plano traz em seu art. 137 a instituição de Faixas Verdes Complementares (FVC), que se posicionam contíguas às APP, em largura variável de 10 a 50 metros a depender da zona urbana, e que se destinam “a ampliar a faixa de proteção ambiental dos corpos d'água, incrementar a permeabilidade do solo urbano, servir de suporte para a implantação das bacias de retenção de águas pluviais, ou para a implantação de projetos específicos como Parques Lineares”.

Em relação às diretrizes de parcelamento, o Plano Diretor exige destinação de 7% do loteamento para áreas públicas de lazer (art. 32), e recomenda-se que nos casos de parcelamentos que envolvam APPs esses espaços sejam dispostos na delimitação das FVC. Esse conjunto de disposições respalda a exigência de algumas BMP e reforça a importância da estratégia de infiltração das águas pluviais no solo.

Referente ao sistema de drenagem, o Plano Diretor entende como o conjunto de poços de infiltração, bacias de retenção, dissipadores de energia, pavimentos permeáveis, entre outros componentes, os quais devem ser projetados e implantados buscando que a vazão de escoamento anterior à urbanização seja mantida, reduzindo seus impactos nos fundos de vale e corpos d'água.

Dentre os coeficientes urbanísticos de ocupação dos lotes, há o coeficiente de permeabilidade (CP), estabelecido no art. 153. Trata-se de um percentual da área do lote que deve exercer a função de permeabilidade, e varia de acordo com a zona, mas que minimamente é de 15%. A reserva destes espaços poderia estar articulada à instalação de BMP destinadas à infiltração, como poços e jardins de biorretenção.



Concernente ao licenciamento dos empreendimentos, o art. 158 estabelece que um empreendimento é considerado impactante ao ambiente construído e natural, e passível de EIV (Estudo de Impacto de Vizinhança), aqueles que tragam risco à integridade dos recursos naturais e comprometam o sistema e controle da drenagem, por serem de atividades incômodas.

#### **3.4.5. Código de Obras e Edificações – Lei Municipal nº15.958 de 2011**

A lei destaca a obrigatoriedade de áreas permeáveis nos lotes para promover a infiltração das águas pluviais, além da implantação de poços de infiltração enquanto dispositivos para retenção e detenção como um elemento de infraestrutura de drenagem (art. 4º). O artigo 88 reforça que as águas coletadas pelas edificações sejam direcionadas aos poços antes de lançadas ao sistema convencional.

Em relação a aspectos construtivos e das técnicas recomendadas, o projeto necessita apresentar elementos de sustentabilidade obrigatórios (como os já mencionados) e opcionais, destacando o reuso das águas residuais ou da chuva desde que atendidos parâmetros de qualidade mínimos (art. 80). De forma complementar, o artigo 120 prevê pisos permeáveis opcionais na faixa livre do passeio público, desde que permitam condições seguras para o fluxo de pessoas.

Cabe destacar também o Certificado de Conclusão da Obra (ou *Habite-se*), que autoriza o uso da edificação. Para a emissão do *Habite-se* é necessário um auto de vistoria sobre o sistema de drenagem urbana que certifique a conformidade de seus componentes (art. 143).

#### **3.4.6. Reservatório nos Lotes – Lei Municipal nº 13.246 de 2003**

A primeira norma legal municipal a apresentar conceitos e técnicas que convergem com o manejo de águas pluviais, constituindo em intervenções no lote para controle na fonte. Para tanto, responsabiliza o empreendedor e/ou proprietário para a construção de dispositivos de detenção, retenção e infiltração das águas pluviais em seus projetos e reformas (SÃO CARLOS, 2003) (arts. 2, 6, 9, 11 e 12).

A fragilidade desse instrumento, no entanto, vincula-se à emissão do *Habite-se* pela SMH DU, após a verificação da construção dos reservatórios. A estrutura institucional vigente não apresenta um sistema de monitoramento destes dispositivos, exceto por denúncias, cabendo aos proprietários e usuários a responsabilidade pela manutenção adequada dos

dispositivos implantados. Por esse motivo, em certos casos acontece a completa desativação destes dispositivos (ALMEIDA, 2014).

### **3.4.7. Captação e aproveitamento de água da chuva - Lei Municipal nº 17.729 de 2016**

Trata-se de uma das mais recentes leis do município com implicações para o manejo de águas pluviais, trazendo a regulamentação das práticas de reuso dessas águas. Ancora-se nos princípios de uso racional dos recursos naturais, combate ao desperdício e preservação ambiental (SÃO CARLOS, 2016b) (art. 1), e permite o reuso da água pluvial tendo em vista a segurança sanitária, como irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, descargas em vasos sanitários, etc. (art. 2).

A implantação do sistema de captação e aproveitamento da água da chuva, estruturas que devem ser apresentadas nos projetos arquitetônicos em conjunto aos memoriais de cálculos hidráulicos (art. 3), é obrigatória somente para imóveis com área construída maior que 140 m<sup>2</sup>. O sistema é constituído por rede própria, sistemas de tratamento e um reservatório de volume mínimo de 2 m<sup>3</sup>. É condicionada a expedição do Habite-se para a avaliação e fiscalização da correta execução dos projetos e estruturas. De forma similar à lei municipal nº 13.246 de 2003 (Reservatório nos Lotes), o monitoramento do uso adequado do sistema após o licenciamento das obras não são previstas na estrutura institucional presente, sendo, portanto, dos usuários a responsabilidade da manutenção e uso.

### **3.4.8. Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos (2011)**

Na formulação do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), deve-se ter a perspectiva de que a drenagem é um componente de abordagem regional: a unidade de gerenciamento é a bacia hidrográfica e, portanto, os fenômenos e atividades envolvidos podem transcender os limites administrativos do município (CANHOLI, 2005). Considera-se que o PDDU constitui um dos instrumentos fundamentais para a orientação da gestão das águas pluviais urbanas, promovendo a integração com outras políticas urbanas, como a de habitação, saneamento e mobilidade (TUCCI, 2002), além de estabelecer regras que buscam o controle e a prevenção nos cenários de ocupação atual e futura.

O desenvolvimento deste plano é realizado segundo duas estratégias: (i) o estabelecimento de legislação, regulamentação e medidas não estruturais para o espaço urbano ocupado e não ocupado; (ii) o plano de controle de impactos na drenagem das áreas ocupadas (TUCCI, 2005). Como um dos elementos centrais produzidos, destaca-se o manual



de drenagem urbana, que busca orientar urbanistas e projetistas em relação ao uso e ocupação da área e às medidas estruturais e não estruturais necessárias para harmonizar o projeto com a bacia urbana ou o sistema de drenagem da área.

No município de São Carlos, em 2009 é firmado um contrato entre Prefeitura Municipal com a SHS Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda, empresa responsável pela elaboração do Plano de Macrodrenagem, o qual foi apresentado em relatório de três volumes em 2011, constituindo o que seria o Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos. O teor do documento foi promulgado com a Lei Municipal nº 17.005 de 2013, instituindo o Programa Municipal de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável, além de consolidar o Plano Municipal de Saneamento Básico.

O conteúdo do plano contempla a definição do território, assim como as bases de informações adotadas, seguindo com a introdução de metodologias de modelagem hidráulico-hidroológico, com as quais foram definidas as medidas estruturais e não-estruturais, conforme a Tabela 3.2, para a resolução dos conflitos avaliados. É também produzido o Manual de Drenagem Urbana, orientando a ação do Poder Público sobre a gestão da drenagem e apresenta um quadro orçamentário para as obras elaboradas nos anteprojetos (SMOP, 2011).

Tabela 3.2 – Síntese das medidas estruturais e não-estruturais indicadas pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de São Carlos.

Medidas estruturais	Medidas não-estruturais
<p><i>Reservatórios on-line:</i> encontram-se na rede principal do sistema de drenagem; no âmbito do plano, correspondem majoritariamente a reservatórios que, quando do período de amortecimento dos volumes escoados, mantêm-se secos; para alguns reservatórios já existentes são apontadas alterações para que se configurem como reservatórios de retenção (mantendo uma lâmina d'água que pode cumprir funções paisagísticas e recreacionais).</p>	<p>Sugere a busca por <i>financiamentos de planos, projetos e obras</i> pelo FEHIDO (Fundo Estadual De Recursos Hídricos de São Paulo), repasses estaduais e federais, além de financiamentos externos para a execução do Plano.</p>
<p><i>Reservatórios off-line:</i> retêm volumes de água que são desviados da rede de drenagem principal quando ocorre a cheia e os restituem para o sistema por bombeamento após o alívio nos picos de vazão.</p>	<p>Recomenda a <i>capacitação e manutenção de um corpo técnico na Prefeitura Municipal</i> responsável pela gestão da drenagem urbana que operacionalize as ações do plano, implemente e fiscalize as políticas e dispositivos legais pertinentes.</p>

(continua)

Tabela 3.2 – Síntese das medidas estruturais e não-estruturais indicadas pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de São Carlos. (conclusão)

Medidas estruturais	Medidas não-estruturais
Obras de <i>estruturação e ampliação nos canais</i> de alguns dos principais córregos da cidade, visando a melhoria da capacidade de vazão.	Sugere a <i>Taxa de Manutenção de Drenagem</i> , constituindo na arrecadação de recursos junto aos municípios para custeio da manutenção das estruturas e dispositivos. Sugere também <i>descontos em IPTU ou outros impostos municipais</i> quando adotadas técnicas compensatórias nos lotes e loteamentos.
Dispositivos de controle de erosões e assoreamento, aterro hidráulico e escada hidráulica (não fornecendo detalhes sobre essas estruturas).	<i>Diretrizes para projetos</i> : orienta a ação dos técnicos da Prefeitura Municipal no fornecimento de diretrizes para projetos de micro e macrodrenagem. Estabelece como responsabilidade da municipalidade a execução das medidas estruturais em áreas consolidadas; porém, para zonas de expansão, recomenda a ação em responsabilidade compartilhada entre Prefeitura e o Empreendedor/Proprietário, ou totalmente para o empreendedor. Apresenta informações e métodos para dimensionamento de estruturas como trincheiras de infiltração, plano de infiltração, pavimentos permeáveis, bacias de retenção e retenção, e polders.
-	Comenta sobre a importância da participação popular para o adequado gerenciamento do sistema, mas apenas indica a criação de <i>programas de educação ambiental</i> .

Fonte: modificado de Faustino (2017).

Conforme avalia Faustino (2017), é evidente a preocupação técnica com o desempenho hidráulico e hidrológico dos dispositivos; no entanto, quase inexistente uma preocupação com a conservação dos atributos naturais do território e seus ecossistemas, ou mesmo com um projeto que reverbera em implantações paisagística e urbanisticamente mais harmoniosas.

Por fim, são trazidas informações sintetizadas da retrospectiva da legislação municipal relativa às águas pluviais (Tabela 3.3), assim como um resumo das atribuições e responsabilidades presentes nas escalas municipal, de bairro e sub-bacias, e local (Tabela 3.4).



Tabela 3.3 – Retrospecto da legislação municipal de São Carlos relativa às águas pluviais.

Número da lei	Ano	Autor	Teor da lei
1920	1954	Antonio Massei (Prefeito)	Abertura de crédito para obras de retificação do córrego do Gregório
5563	1967	Antonio Massei (Prefeito)	Abertura de crédito para obras de canalização do córrego do Gregório
7125	1972	Antonio Teixeira Vianna (Interventor Federal)	Abertura de crédito para obras de canalização de águas pluviais e retificação de córrego
7300	1974	Mário Maffei (Prefeito)	Operação de crédito para obras de canalizaçãodos córregos do Gregório e Simeão e implantação da Avenida Comendador Alfredo Maffei
7452	1975	Mário Maffei (Prefeito)	Contratação de empréstimo para obras de retificação, pontes e avenidas marginais nos córregos do Gregório, Monjolinho e Tijuco Preto
7718	1977	Mário Maffei (Prefeito)	Abertura de crédito para obras de canalização de águas pluviais e retificação dos córregos do Gregório, Monjolinho e Tijuco Preto
7804	1977	Rubens Massúcio (Prefeito em exercício)	Abertura de crédito para obras de canalização de águas pluviais do córrego do Simeão
8926	1983	João Otávio Dagnone de Melo (Prefeito)	Empréstimo destinado à pavimentação, guias, sarjetas, galerias de águas pluviais e sistemas de saneamento
9247	1984	João Otávio Dagnone de Melo (Prefeito)	Autoriza a realização de serviços de terraplanagem, capa asfáltica, dramento de águas pluviais, colocação de guias e sarjetas
10753	1993	Rubens Massúcio Rubinho (Prefeito)	Celebra convênio para macrodrenagem do município
10937	1994	Rubens Massúcio Rubinho (Prefeito)	Autoriza convênio para execução de obras de drenagem de águas pluviais na rua 13 de maio
10941	1994	Rubens Massúcio Rubinho (Prefeito)	Autoriza convênio para execução de canalização do córrego do Tijuco Preto
13246	2003	Roberto Mori Roda	Dispõe sobre construção de reservatório de retenção ou retenção de águas em conjuntos habitacionais, áreas comerciais e indústrias, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas
13316	2004	José Pinheiro	Dispõe sobre a utilização de resíduos sólidos de materiais permeáveis (argila e barro) em ruas, estradas vicinais e como barreira de erosão de córregos e rios
13649	2005	Newton Lima Neto (Prefeito)	Proíbe o despejo de água pluvial na rede coletora de esgoto e o lançamento de esgoto na rede de águas pluviais

(continua)

Tabela 3.3 – Retrospecto da legislação municipal de São Carlos relativa às águas pluviais. (conclusão)

Número da lei	Ano	Autor	Teor da lei
13691	2005	Newton Lima Neto (Prefeito)	Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos
13944	2006	Newton Lima Neto (Prefeito)	Dispõe sobre a criação de Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM
14040	2007	Newton Lima Neto (Prefeito)	Contrata operação de crédito para obras de drenagem
17005	2013	Paulo Automani (Prefeito)	Institui o Programa Municipal de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos e consolida o Plano Municipal de Saneamento Básico
17720	2016	Paulo Automani (Prefeito)	Cria o sistema de captação e aproveitamento de água de chuva e institui a sua obrigatoriedade nos imóveis no município
18053	2016	Paulo Automani (Prefeito)	Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos e revoga a Lei Municipal 13.691/2005

Fonte: modificado de Faustino (2017).

Tabela 3.4 – Síntese do sistema de gestão de águas pluviais urbanas em cada escala de intervenção.

Sistema de gestão de águas pluviais urbanas			
Aspectos	Escala municipal	Escala de bairros e sub-bacias	Escala local
<b>Principal instrumento regulador</b>	Plano Diretor de Drenagem	Licenciamento de parcelamentos do solo	Licenciamento de obras e edificações
<b>Órgão público gestor</b>	SMOP*	SMHDU**	SMHDU
<b>Função</b>	Definição dos fundamentos da política municipal de manejo de águas pluviais: Previsão das infraestruturas de macrodrenagem	Indução e condicionamento do processo de ocupação; Execução das infraestruturas de microdrenagem; Execução dos dispositivos compensatórios do impacto da ocupação	Atendimento dos coeficientes de ocupação; Execução dos dispositivos para manejo de águas pluviais no lote
<b>Tecnologias empregadas</b>	Reservatórios de detenção; Canais; Piscinões; Medidas não estruturais	Reservatórios de detenção	Poço de infiltração; Cisterna de águas pluviais
<b>Responsabilidade de implementação</b>	Responsabilidade majoritária do poder público (SMOP)	Responsabilidade entre empreendedor e poder público (SMHDU)	Responsabilidade entre município e poder público (SMHDU)
<b>Responsabilidade de manutenção</b>	SMOP e SMSP***	SMSP	Município usuário

\* Secretaria Municipal de Obras Públicas; \*\* Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano;

\*\*\*Secretaria Municipal de Serviços Públicos.

Fonte: modificado de Faustino (2017).





### 3.5. Um diálogo de experiências: a Itália e o quadro normativo sobre a proteção hidráulica do território

*A relação que um homem tem com sua profissão é parecida com a que ele mantém com seu país; é um tanto complexa, muitas vezes ambivalente [...]; só hoje sinto que me afastei o bastante para vê-la em sua totalidade e para compreender o quanto ela me penetrou e o quanto lhe devo (LEVI, 2016, p. 11).*

O breve momento de distanciamento da realidade acadêmica brasileira e a vivência em um ambiente histórico, técnico e culturalmente diferente foram, de forma similar ao que escreveu o arguto químico e escritor italiano Primo Levi, um divisor de águas em termos de olhares e experiências, especialmente ao estudar como opera uma realidade na qual o controle das inundações já é bastante adiantado. Nessa direção, busca-se registrar esse quadro da Itália – com a cautela de não o reduzir a um esquema simplificado – à luz de um recorte de normas e diretivas (particulares desse país ou em nível europeu) e do painel de dados geoespaciais disponibilizados de maneira pública e de fácil acessibilidade, além de apresentar algumas cartografias temáticas, referentes a inundações históricas e faixas de riscos hidrológicos, ferramentas importantes para tomada de decisão, desenvolvidas em atividades no *Politecnico di Milano* durante o intercâmbio (23/02/2018 à 28/06/2018).

#### 3.5.1. *Le fasce di rispetto fluviale* [Faixas de respeito fluvial]

##### Regio Decreto 25 luglio 1904, n.523

Dispõe sobre as atividades e obras hidráulicas de diversas categorias (ITÁLIA, 1904). Destaca-se o artigo 96, que veta de modo absoluto e restringe algumas atividades no entorno de um curso d'água, considerando prioritariamente a área de expansão das cheias do rio.

##### Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n.152

Dispõe sobre a proteção de águas contra a poluição. Destaca-se o artigo 41, sobre a proteção de áreas de importância para corpos d'água:

a fim de garantir a manutenção ou a restauração da vegetação na área imediatamente adjacente aos corpos de água, com funções de filtro para sólidos suspensos e para poluentes de origem difusa, e de estabilização das margens e conservação da biodiversidade [...], cada região deve regular as intervenções de alteração e gestão do solo [...] previstas em faixa de **pelo menos 10 metros da margem dos rios**, lagos e lagoas, e proibir a cobertura de cursos d'água, caso não seja uma medida imposta por razões de proteção da segurança pública (ITÁLIA, 1999, tradução nossa, grifo nosso).

Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42

Dispõe sobre bens culturais e paisagísticos. Como elementos de interesse paisagístico e sujeitos a essa lei de proteção e valorização, destacam-se (art. 142): “rios, córregos, cursos de água elencados pela lei sobre água e sistemas elétricos [R. D. 1933/1775], assim como uma **faixa de 150 metros** relativa às margens” (ITÁLIA, 2004, tradução nossa, grifo nosso). Portanto, nessas faixas “não podem ser introduzidas modificações que engendrem prejuízo aos valores paisagísticos, objetos de proteção” (art. 146).

**3.5.2. *Il Piano di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI)* [Plano de bacia para enquadramento hidrogeológico]**

O discurso sobre riscos de inundação intensificou-se expressivamente a partir de dois grandes eventos catastróficos: as inundações de Polesine, em 1951, e de Firenze (Figura 3.6), em 1966, um dos maiores desastres naturais da Itália e um dos mais fortes registrados na Europa, envolvendo áreas de alta densidade populacional.

Figura 3.6 – Registros do desastre. Nos dias 3 e 4 de novembro de 1966 o rio Arno inundou a cidade de Firenze. Pequenas placas foram espalhadas pela cidade indicando a altura atingida pela água durante o evento. Houve uma mobilização sem precedentes no mundo para recuperar um patrimônio artístico inestimável.



Fonte: Gomes (2016).

Em resposta, pela primeira vez na Itália, é constituída uma comissão que ficaria responsável pela defesa do solo em nível nacional, com coordenação do engenheiro hidráulico e professor do Politecnico di Milano, Giulio De Marchi. A Comissão De Marchi, como ficou conhecida, propõe, em 1970, e também pela primeira vez no país, que a proteção hidráulica seja enquadrada no âmbito do planejamento de bacias hidrográficas.

Após quase 20 anos das propostas da Comissão De Marchi, estas passam por ato legislativo, constituindo uma das principais leis de proteção hidráulica:

Legge 18 maggio 1989, n. 183

Inscreve as bacias hidrográficas como instrumento estratégico de gestão integrada do território, buscando a limitação de riscos e o uso eficiente dos recursos hídricos, prevendo autoridades de bacias em nível nacional, inter-regional e regional (ITÁLIA, 1989). Estes devem redigir o “plano de bacia para enquadramento hidrogeológico” (art.17), determinando um cenário compatível com a segurança hidráulica, o uso de recursos hídricos, o uso do solo, e a proteção de componentes naturais e ambientais referentes ao território de competência da autoridade.

Em relação às inundações, o plano deve desenvolver precisamente três ações:

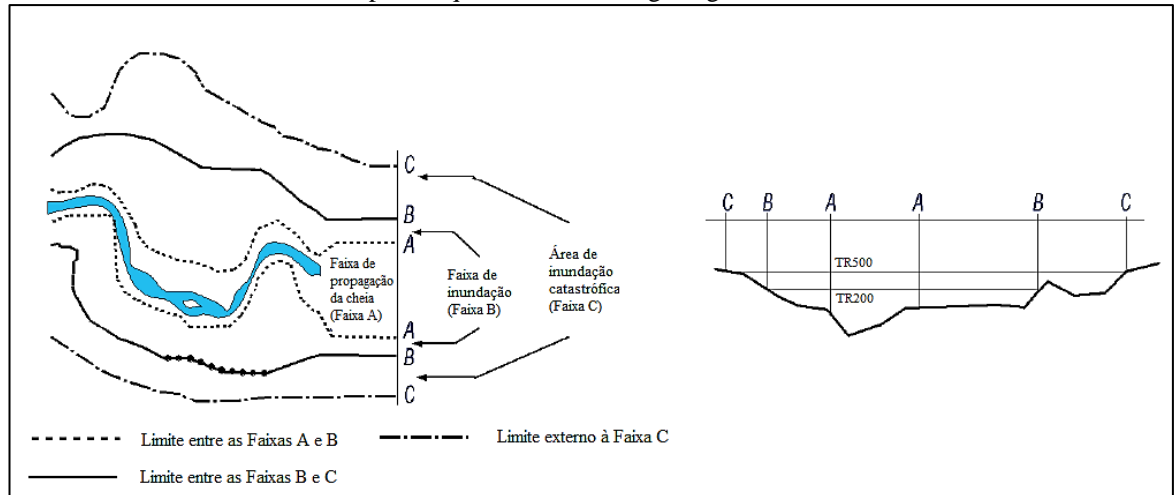
- (i) identificar as áreas de risco de inundação e as respectivas causas;
- (ii) zonestar (em faixas) esses riscos em relação à intensidade dos impactos negativos, tendo em vista o momento anterior à atividade antrópica na área;
- (iii) identificar as medidas necessárias para conservação do solo e proteção do ambiente, hierarquizando essas necessidades em função dos riscos de inundação e magnitude e extensão do impacto.

Como exemplo, pode-se mencionar o “Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po” [plano de bacia para enquadramento hidrogeológico do rio Po] que tem como objetivo “a redução do risco hidrogeológico à luz de valores compatíveis com o uso do solo atual, de modo a salvaguardar vidas humanas e minimizar possíveis danos a bens materiais” (PIANO..., 2001, tradução nossa). O plano zoneia o rio em “faixas fluviais” (“le fasce fluviali del fiume Po”) da seguinte forma (Figura 3.7):

- **Faixa A:** faixa de propagação da cheia, considerando uma vazão de referência com período de retorno (TR) igual a 200 anos.
- **Faixa B:** faixa de inundação, resultante também de uma vazão de TR igual a 200 anos.

- **Faixa C:** área de inundação catastrófica, considerando como vazão de referência a maior historicamente registrada, com período de retorno superior a 200 anos; na ausência desse dado, o cálculo é feito com TR igual a 500 anos.

Figura 3.7 – Esquema das faixas fluviais do rio Po, o maior rio em extensão da Itália, segundo o plano de bacia para enquadramento hidrogeológico.



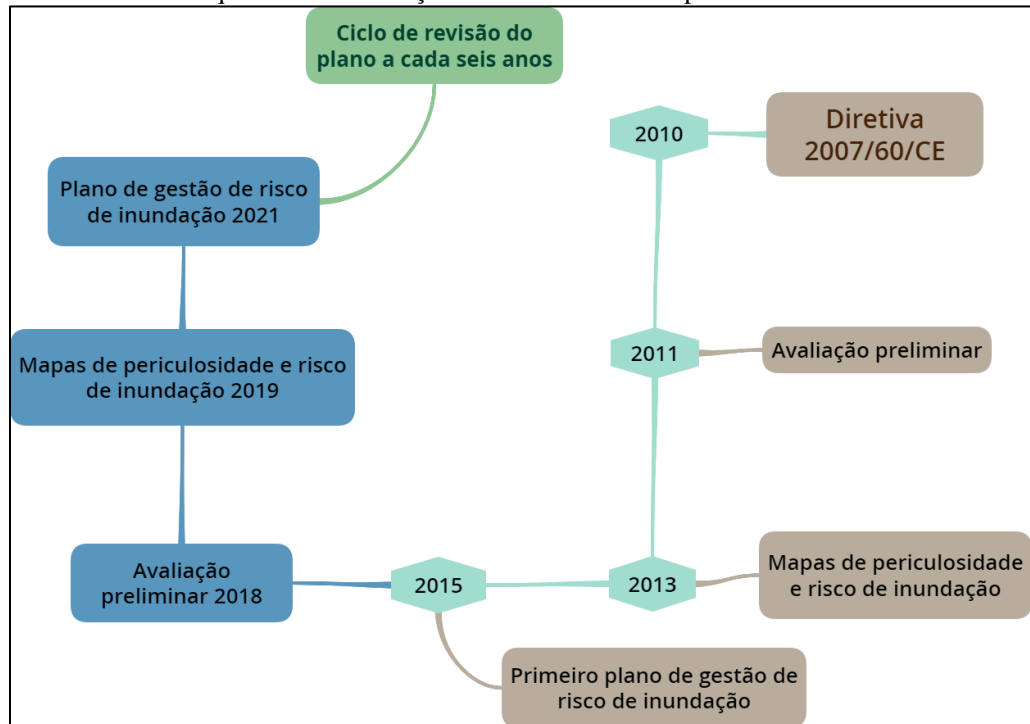
Fonte: adaptado de notas de aulas da disciplina *Hydrogeological risk (Protezione Idraulica del Territorio)*, cursada no primeiro semestre de 2018, no Politecnico di Milano, Itália.

Para cada faixa há restrições de uso e ocupação e de intervenções hidráulicas.

### 3.5.3. Âmbito normativo europeu: *Directive 2007/60/EC (Floods Directive, FD)*

O objetivo desta diretiva é estabelecer um quadro, envolvendo toda a comunidade europeia, para a avaliação e gestão dos riscos de inundação, visando a redução de consequências negativas, associadas às inundações, para a saúde humana, meio ambiente, patrimônio cultural e atividades econômicas (EUROPEAN COMMISSION - EC, 2007). Para tanto, como suporte estratégico para a criação de planos, realiza-se a construção de mapas de periculosidade e risco de inundação (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Esquema de como opera a estrutura cíclica e iterativa da Diretiva 2007/60/CE sobre a questão das inundações na comunidade europeia.



Fonte: próprio autor.

Seguindo essa importante Diretiva, destaca-se a Normativa Regione Lombardia (Região de Lombardia, norte da Itália) através da “Legge Regionale 11 marzo 2005”, que estabelece instrumentos para coordenação e integração de informações (mais detalhados na próxima subseção) e planos territoriais conforme premissas da diretiva europeia.

### 3.5.4. Informações geoespaciais à serviço da sociedade

A Diretiva 2007/2/EC convoca a criação da Infraestrutura Europeia de Informação Geográfica (INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in the European Community), a qual busca promover a disponibilização de informação de natureza espacial, passível de ser utilizada na formulação, implementação e avaliação das políticas ambientais da União Europeia, tendo como base a infraestrutura de dados operante em níveis nacionais. Em outros termos, trata-se de uma diretiva enquadradora que define condições globais para a criação dessa rede de informação geográfica, dando possibilidade aos cidadãos da comunidade europeia de facilmente encontrarem informações em termos de Meio Ambiente e outros eixos temáticos, e permitindo também que as autoridades públicas tenham mais flexível acesso a dados produzidos por outras autoridades públicas.

A Diretiva impõe que os Estados-Membros realizem a gestão e disponibilizem os dados e os serviços de informação geográfica (IG) de acordo com determinados princípios e regras: metadados, interoperabilidade de dados e serviços, utilização de serviços de IG, princípios de acesso e partilha de dados, entre outros. Conforme o modelo de implementação em etapas previsto na Diretiva, as disposições de execução são elaboradas de modo progressivo, sendo as mesmas aprovadas pelo Comitê INSPIRE.

O acesso aos serviços referidos na Diretiva, disponibilizados pelos Estados-Membros, pode ser feito através de **geoportais**, que são uma espécie de “porta” do *World Wide Web* que organiza conteúdos e serviços como diretórios, instrumentos de pesquisa, informações sobre território, recursos de suporte, dados e diversas aplicações interativas. Como referências, destacam-se:

(i) **Geoportal INSPIRE**: envolve um arcabouço de dados geoespaciais de toda a comunidade europeia;

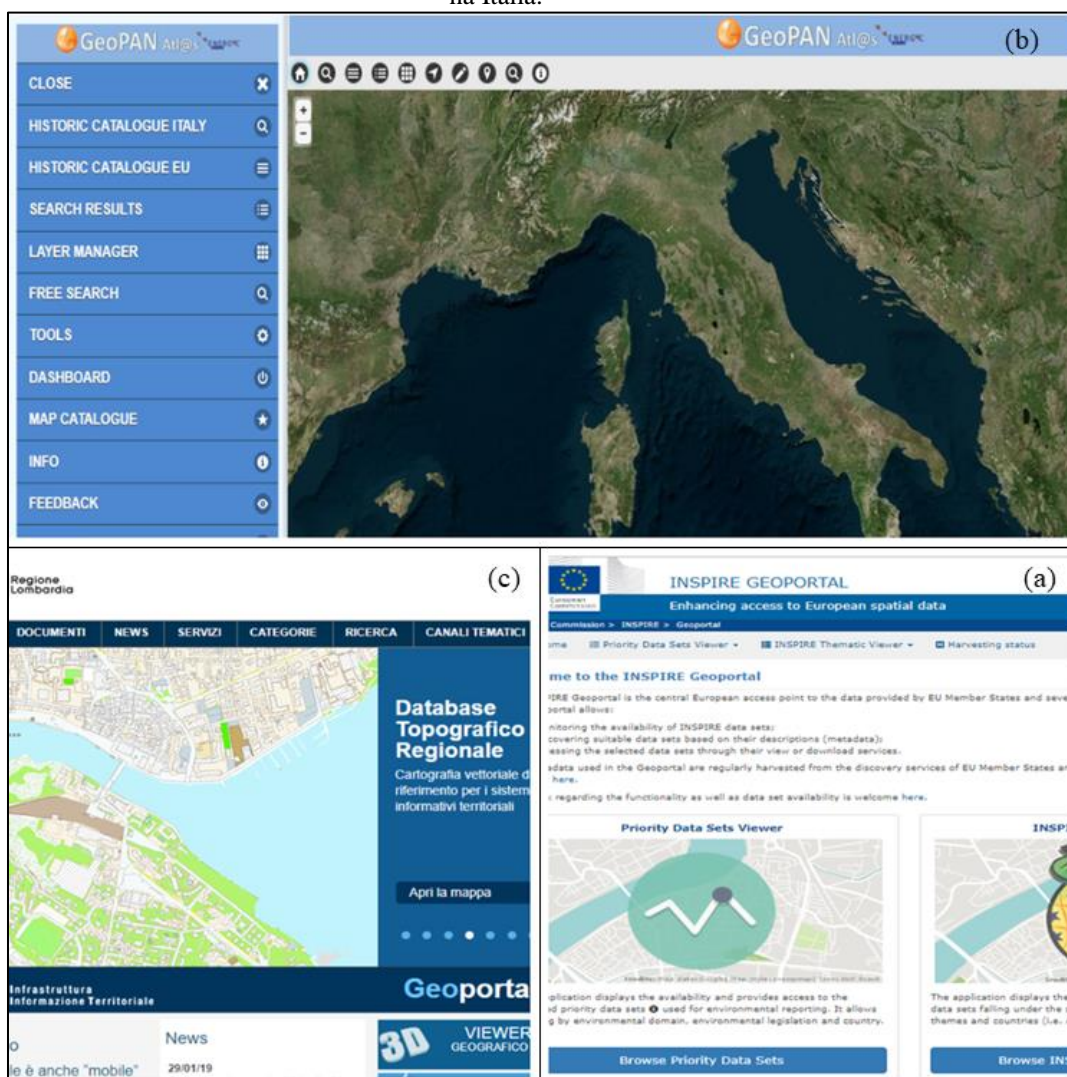
(ii) **GeoPAN**: geoportal desenvolvido pelo Politecnico di Milano em parceria com a Universidad de Zaragoza e que disponibiliza um grande conjunto de cartografias históricas, mapas nacionais, regionais, urbanos, e “layers” referentes a geologia e cursos d’água (separados de forma cronológica) de 7 países, incluindo Itália, Alemanha e Inglaterra;

(iii) **Geoportal Regione Lombardia**: criado no âmbito dessa Diretiva e seguindo também a Normativa Regione Lombardia, fornece informações temáticas, como aquelas vinculadas ao plano de gestão de risco de inundações (e.g. manchas de inundação históricas, faixas fluviais, classificação de áreas de risco), além de modelos digitais de terreno e cartas regionais técnicas (Figura 3.9).

Há muitos geoportais especializados também na esfera local da Itália, como “Geoportale del Comune di Milano” e “Geoportale della provincia di Monza e Brianza”.



Figura 3.9 –Interface de algumas referências de geoportais: (a) **geoportal INSPIRE** - envolve informações geográficas sobre toda a comunidade europeia; (b) **GeoPAN** - contempla um banco de informações espaciais de 7 países no mundo; (c) **geoportal Regione Lombardia** - disponibiliza dados temáticos da região de Lombardia, na Itália.

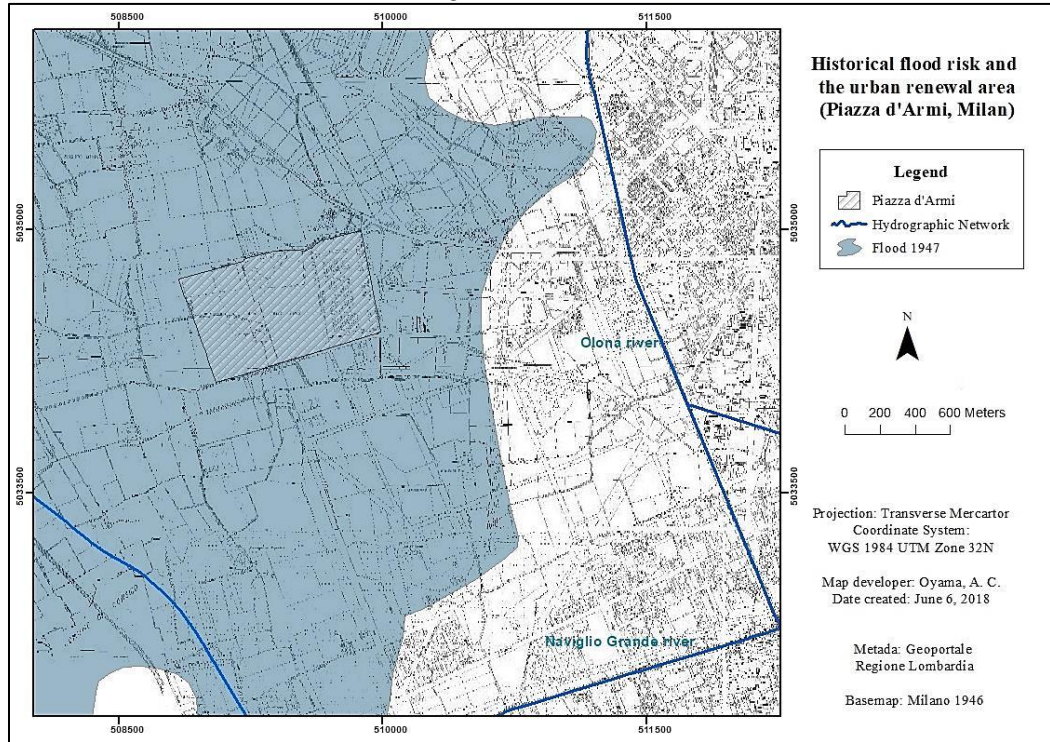


Fontes: (a) INSPIRE (2019); (b) GeoPAN (2019); (c) Regione Lombardia (2019).

Diante desse quadro normativo esboçado e de um conjunto de informações geoespaciais disponíveis, são apresentados a seguir alguns exemplos de aplicações potenciais utilizando cartografias temáticas, poderosos instrumentos de planejamento e de tomada de decisão, produzidas pelo autor em disciplinas do *Politecnico di Milano* com o software ArcGIS 10.3 (Figuras 3.10 a 3.15).

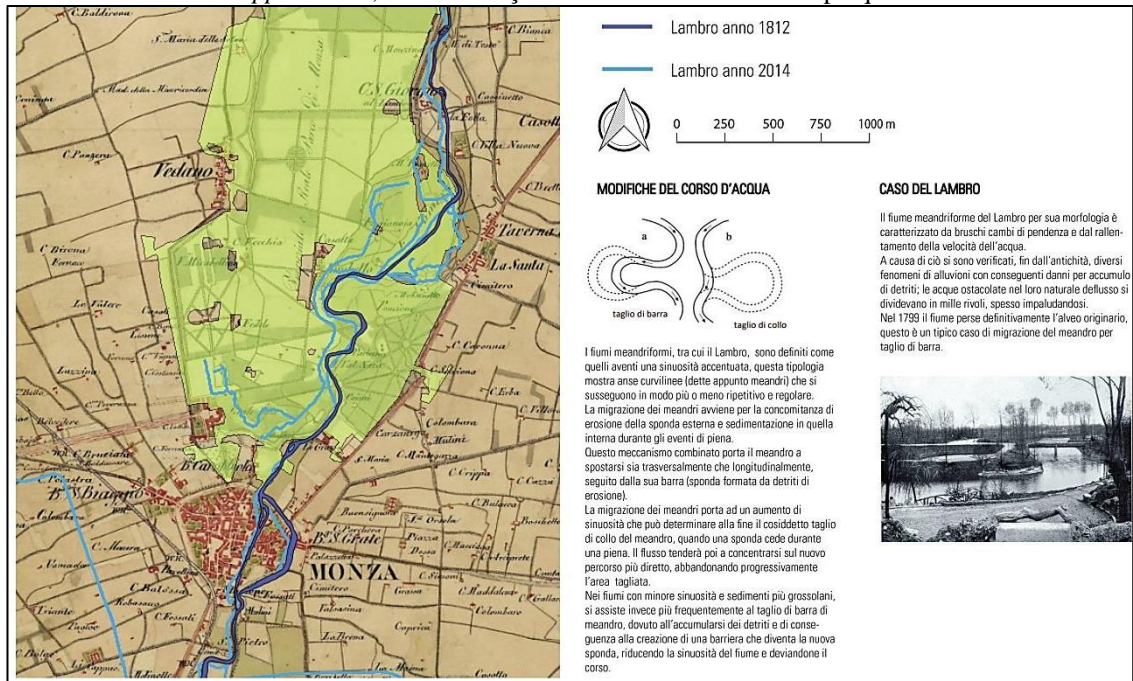


Figura 3.10 – Mancha de inunda o de 1947 cobrindo uma das áreas de renova o urbana, a Piazza d’Armi, em Milão, Itália, tendo como base uma carta de 1946. Mapa elaborado para projeto da disciplina *Urban Renewal and Planning*, no *Politecnico di Milano*.



Fonte: próprio autor.

Figura 3.11 – Percursos do rio Lambro em 1812 e 2014, atravessando o parque *Villa Reale di Monza* (destacado em verde), no norte da Itália. Cartografia elaborada para projeto da disciplina *Cartography, GIS and Geomatic Applications*, sobre a rela o histórica desse rio com o parque.

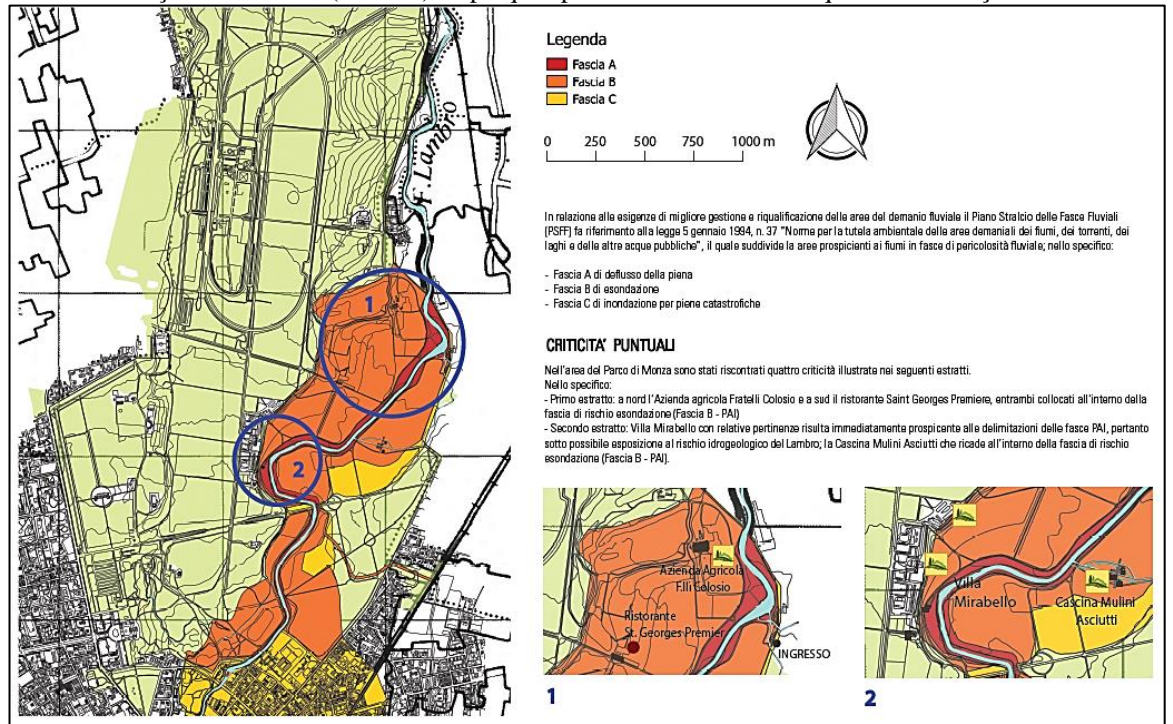


Fonte: próprio autor. Base de dados: GeoPAN e Regione Lombardia.



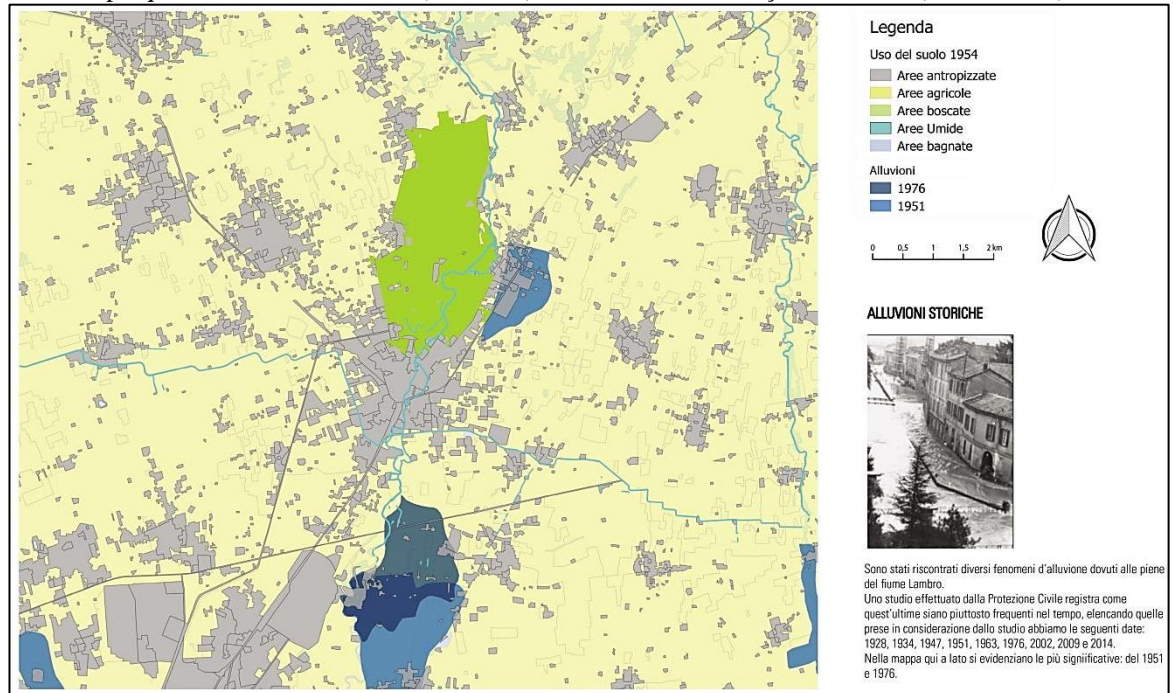


Figura 3.12 – *Faixas fluviais* do rio Lambro, tributário do rio Po, no parque *Villa Reale di Monza* (em verde), conforme o *Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po* [plano de bacia para enquadramento hidrogeológico do rio Po], definindo a faixa de propagação da cheia (Faixa A), faixa de inundação (Faixa B), e área de inundação catastrófica (Faixa C). O parque apresenta histórico de frequentes inundações.



Fonte: próprio autor. Base de dados: GeoPAN e Regione Lombardia.

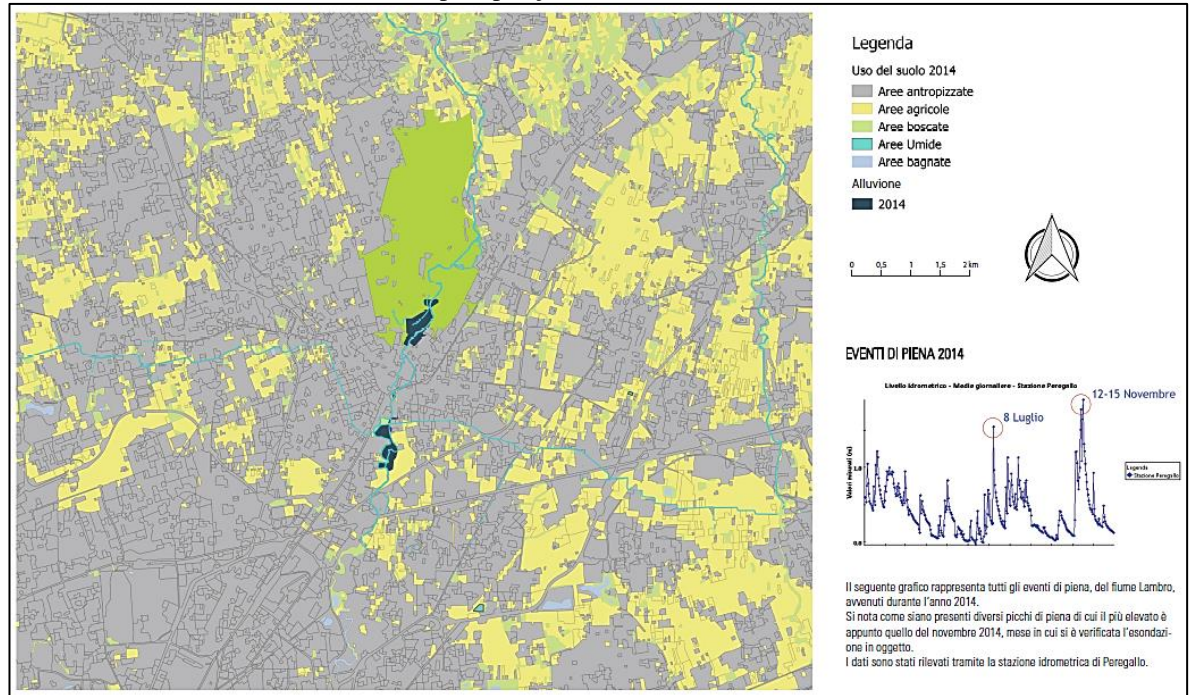
Figura 3.13 – Mapa temático mostrando o uso e ocupação do solo em 1954, na província de Monza, destacando o parque *Villa Reale di Monza* (em verde) e manchas de inundação históricas (1976 e 1951).



Fonte: próprio autor. Base de dados: GeoPAN e Regione Lombardia.

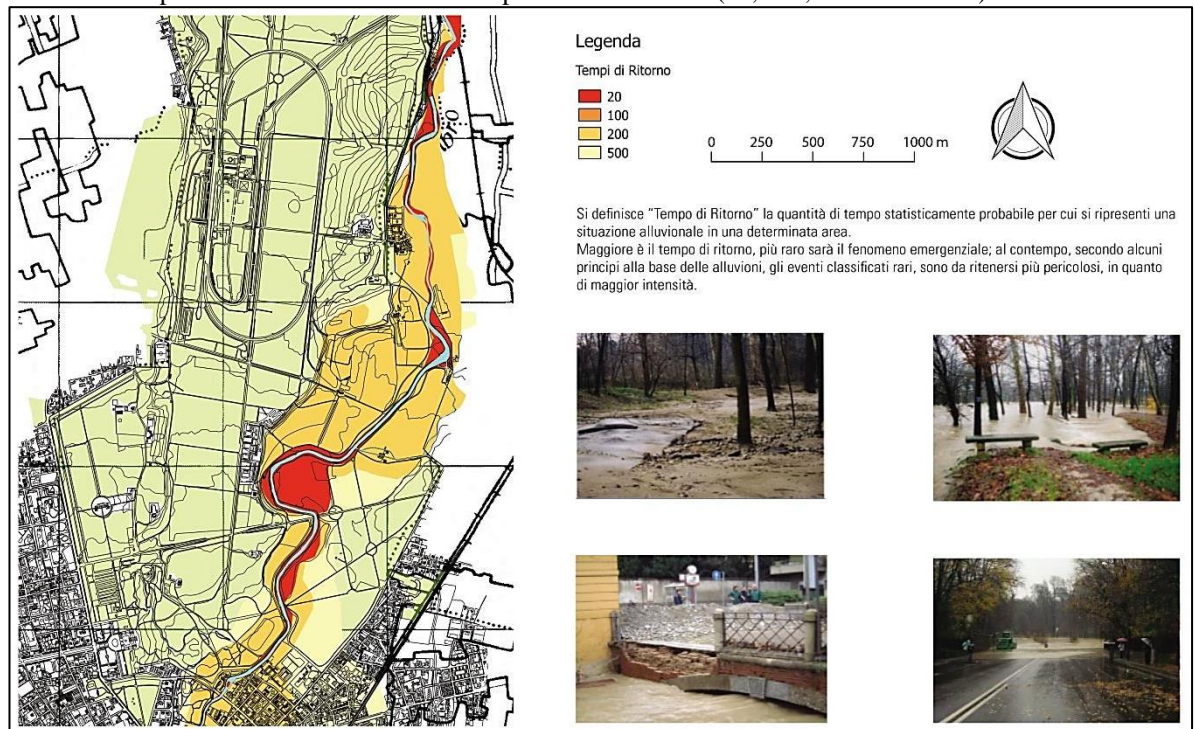


Figura 3.14 – Cartografia temática com o uso e ocupação atual (2014) na província de Monza, destacando o parque *Villa Reale di Monza* (em verde) e manchas de inundação resultantes de episódios de intensa precipitação em 2014.



Fonte: próprio autor. Base de dados: GeoPAN e Regione Lombardia.

Figura 3.15 – Mapa temático mostrando o parque *Villa Reale di Monza* (em verde) e manchas de inundação simuladas a partir de chuvas com diferentes períodos de retorno (20, 100, 200 e 500 anos).



Fonte: próprio autor. Base de dados: GeoPAN e Regione Lombardia.



## 4. Fluxo de fundamentos e revisão bibliográfica (Parte II)

### 4.1. Estudos hidrológicos para macrodrenagem urbana: conceitos e métodos

*A nascente é já o vigente rio, a água em flagrante exercício./ - O rio é uma cobra que tem a boca na chuva e a cauda no mar (COUTO, 2003, p.61).*

Os estudos hidrológicos constituem uma valiosa camada de informação para a definição de projetos, especialmente de urbanismo, e reverberam em várias etapas do planejamento dos recursos hídricos e do dimensionamento de obras hidráulicas. Como exemplo, uma prática fundamental para o planejamento de ocupação de novas áreas urbanas é a realização de simulações hidrológicas da área pré-ocupacional, a fim de estabelecer valores de deflúvios que servirão para a regulamentação da execução de ações voltadas à drenagem da área, tendo a perspectiva de harmonizar o desenvolvimento espacial com a infraestrutura existente (TUCCI, 1998).

Algumas das principais aplicações são apontadas por Tucci (1998): (i) hidrograma de projeto de enchente para avaliar o risco de um determinado local dentro do cenário existente e de controle com obras hidráulicas; (ii) estimativa da disponibilidade hídrica de uma bacia com ou sem regularização da vazão; (iii) simulação de sistemas hídricos com usos múltiplos sujeitos a distintas obras e restrições. Nesses diferentes casos, os modelos hidrológicos não apresentam necessariamente o compromisso de representar as condições observadas, mas são utilizadas para simular condições limites potenciais. A seguir são apresentados alguns conceitos importantes para a operação dessas simulações.

#### 4.1.1. Período de retorno (Tr)

O *Período de Retorno* de determinado evento aleatório hidrológico (chuva ou vazão) é definido como o intervalo médio de tempo dentro do qual um evento de magnitude  $x$  é igualado ou superado pelo menos uma vez, e é designado por  $Tr$  (anos).

Se um evento de magnitude  $X \geq x$  ocorre uma vez em  $Tr$  anos, a probabilidade  $P(X \geq x)$  é igual a  $1$  em  $Tr$  anos, isto é:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{Tr} \therefore Tr = \frac{1}{P(X \geq x)} = \frac{1}{1 - P(X < x)} = \text{Freq}(x)$$

A expressão “evento de  $N$  anos” não implica que este evento será igualado ou superado exatamente uma vez, em cada período de  $N$  anos. Apenas permite avaliar que, em um longo período de observações de por exemplo 100 anos, poderá haver  $100/N$  eventos iguais ou maiores que o evento de  $N$  anos. Todos os eventos deste tipo podem ocorrer inclusive em anos consecutivos (PORTO, 1991).

Nessa direção, a escolha do período de retorno é um parâmetro essencial no planejamento e projeto em drenagem urbana. Este parâmetro está indispensavelmente atrelado ao hietograma e ao hidrograma de projeto e, conseqüentemente, às dimensões das obras hidráulicas e o grau de proteção à população, considerando determinado “risco aceitável” (PORTO, 1991). Quanto maior for o grau de segurança exigido, maior o período de retorno adotado e, nesse sentido, maiores serão os custos associados às obras de intervenções no meio ambiente urbano.

É importante, portanto, que a municipalidade elabore e apresente diretrizes para a escolha desse parâmetro, não sendo de responsabilidade apenas do projetista. Trata-se de um critério definido em esferas sociais, econômicas e políticas.

Na prática, essa dificuldade de se adotar de modo objetivo o período de retorno em dado projeto pode ser amparada por indicações gerais, recomendadas por entidades técnicas, como mostra a Tabela 4.1 São recomendações encontradas na literatura técnica e que possuem certo consenso, a despeito da larga faixa de anos indicada em alguns casos.

Tabela 4.1 – Valores típicos de períodos de retorno.

<b>Tipo de obra</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Período de Retorno (Tr)</b>
<b>Sistemas de Microdrenagem</b>	Áreas Residenciais	2 – 5 anos
	Áreas Comerciais	2 – 10 anos
	Aeroportos	2 – 10 anos
	Áreas centrais de maior importância	5 – 10 anos
<b>Elementos de Sistemas de Macrodrenagem</b>	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100 anos
	Áreas de importância específica	100 - 200 anos
	Estruturas especiais	

Fonte: modificado de Porto (2018).

Na absoluta maioria das bacias urbanas, não se dispõe de sérias históricas de vazões observadas para possibilitar uma análise estatística criteriosa na determinação da vazão de projeto, associada à sua frequência de ocorrência (CANHOLI, 2005). É usual se estabelecer o período de retorno para se gerar, através de uma curva IDF, a chuva de projeto<sup>7</sup>, e aceitar que

<sup>7</sup> Conceitos que serão apresentados adiante.



esse período de retorno é o mesmo da vazão de projeto. Evidentemente que isto é muito controverso, pois a resposta da bacia a dois episódios chuvosos iguais em duração e intensidade é muitas vezes diferente. Essa resposta hidrológica está intimamente influenciada pelas condições pretéritas da bacia, mormente sua umidade antecedente.

#### 4.1.2. Tempo de concentração ( $T_c$ )

Definido como o tempo estimado que a água precipitada no ponto mais afastado da bacia leva para percorrer até a seção de saída. Segundo Porto (1991), a determinação do tempo de concentração para bacias hidrográficas deve ser realizada de modo criterioso, considerando as seguintes observações:

- a dispersão nos valores dos tempos de concentração obtidos a partir das diversas equações, na maioria empíricas (as fórmulas foram originadas a partir de estudos experimentais de campo ou laboratório) e inerentes às situações para as quais foram desenvolvidas, é expressivamente grande;
- dessa forma, as vazões de pico podem apresentar variações sensíveis, em virtude da notável influência do tempo de concentração na determinação do valor e no tempo de ocorrência.

Na publicação de Porto (1991), são apresentadas algumas destas fórmulas. A seguir é apresentada uma síntese das características de algumas das fórmulas analisadas nesta e em outras publicações.

##### A) Kirpich - 1942 (Califórnia Culverts Practice)

A grande vantagem desta fórmula é a fácil obtenção dos dados, isto é, o comprimento do talvegue e a diferença de nível  $H$  e é recomendada pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), do Estado de São Paulo. Em geral, é aplicada em bacias rurais para áreas maiores que 1 km<sup>2</sup> (TOMAZ, 2002). Reflete basicamente o escoamento em superfícies.

$$T_c = 57 \left[ \frac{L^3}{H} \right]^{0,385} \quad (1)$$

$T_c$  – tempo de concentração (min.);

$L$  – comprimento do talvegue do curso d'água (km);

$H$  – desnível altimétrico entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m).

### B) Kirpich - Modificada

De acordo com o Manual de Hidrologia do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER, 1990), em estudos em bacias médias e grandes, concluiu-se que com tempos de concentração 50% maiores que os calculados pela expressão proposta por Kirpich, a aplicação do hidrograma unitário triangular do SCS fornece valores próximos aos observados.

A equação é a seguinte:

$$T_c = 85,2 \left[ \frac{L^3}{H} \right]^{0,385} \quad (2)$$

$T_c$  – tempo de concentração (min.);

$L$  – comprimento do talvegue do curso d'água (km);

$H$  – desnível altimétrico entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m).

### C) SCS - Lag- equation - 1975

Desenvolvida para bacias rurais de até 8 km<sup>2</sup> e reflete, basicamente, o escoamento em superfícies.

$$T_c = 3,42 L^{0,8} \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,7} S^{-0,5} \quad (3)$$

Onde:

$T_c$  – tempo de concentração (h);

$L$  – distância , ao longo do talvegue, entre o divisor da bacia e a seção de interesse (km);

$S$  – declividade do talvegue da bacia (m/m);

$CN$  – Número de curva do SCS.

### D) DNOS - 1976

$$T_c = \frac{10 A^{0,3} L^{0,2}}{K I^{0,4}} \quad (4)$$

Onde:

$T_c$  – tempo de concentração (min);

$A$  – área da bacia hidrográfica (ha);

$L$  – distância, ao longo do talvegue, entre o divisor da bacia e a seção de interesse (m);

$I$  – declividade do talvegue da bacia (%);





$K$  – adimensional, com valores apresentados na tabela seguinte.

Com  $K$  definido segundo os seguintes critérios:

$K=2$ ; Terreno areno-argiloso , coberto de vegetação, intensa absorção

$K= 3$ ; Terreno argilo- arenoso , coberto de vegetação, absorção apreciável

$K=4$ ; Terreno argiloso , coberto de vegetação, absorção média

$K=4,5$ ; Terreno argiloso , vegetação média, pouca absorção

$K=5$ ; Terreno com rocha vegetação escassa, baixa absorção

$K=5,5$ ; Terreno com rocha vegetação escassa, reduzida absorção

### E) George Ribeiro - 1961

$$T_c = \frac{16L}{(1,05 - 0,2p)(100S)^{0,04}} \quad (5)$$

$p$  – relação entre área coberta por vegetação e a área total da bacia

$S$  – declividade média do talvegue (m/m)

$L$  – comprimento do talvegue (km)

Em virtude da variabilidade dos resultados da aplicação das várias equações acima, recomenda-se uma análise criteriosa das características da bacia hidrográfica em estudo, comparando-as com as das bacias que serviram de base para a obtenção das equações

Para bacias urbanas, segundo Canholi (2005), recomenda-se que o tempo de concentração seja calculado como a soma de 3 parcelas, todas elas tratadas com enfoque cinemático:

$$T_c = T_s + T_n + T_q$$

Sendo:

$T_c$  - tempo de concentração (h);

$T_s$  - tempo de escoamento em superfície (h);

$T_n$  - tempo de escoamento em canal natural (h);

$T_q$  - tempo de escoamento em canal ou galeria artificial (h).

#### e.1) Tempo de Escoamento em Superfícies

O tempo de escoamento em superfícies deve ser calculado para os primeiros 50 a 100 m de montante do talvegue e se caracteriza por pequenas espessuras de lâminas d'água com

velocidades baixas. Depende da declividade do terreno, de sua rugosidade e da intensidade da chuva. Pode ser calculado segundo a equação:

$$T_s = \frac{0,091.(n.L)^{0,8}}{P_2^{0,5} . S^{0,4}}$$

Sendo:

$n$  - coeficiente de rugosidade de Manning;

$L$  - comprimento do trecho (m);

$P_2$  - total precipitado em 24 horas para recorrência de 2 anos (mm);

$S$  - declividade do talvegue (m/m).

#### e.2) Tempo de Escoamento em Canal Natural

O tempo de escoamento no canal natural pode ser obtido pelo método cinemático:

$$T_n = \frac{L}{3.600V}$$

Em que:

$L$  - comprimento do trecho, em m;

$V$  - velocidade do escoamento, em m/s;

#### e.3) Tempo de Escoamento em Canais ou Galerias Artificiais

Quanto ao tempo de escoamento em canais ou galerias artificiais pode-se calcular cinematicamente como no caso anterior, com a velocidade de escoamento obtida pela fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} . I^{1/2} . R_h^{2/3}$$

Em que:

$V$  - velocidade do fluxo (m/s);

$I$  - declividade longitudinal do canal (m/m);

$R_h$  - raio hidráulico do canal (m).

Um abrangente e detalhado trabalho sobre a utilização e comparação das várias formulações pode ser encontrado em Silveira (2005).





#### 4.1.3. Hidrogramas de projeto: considerações iniciais

Em virtude da carência de dados fluviométricos que poderiam subsidiar análises estatísticas de cheias, comumente são adotados modelos matemáticos do tipo *chuva-vazão* para a definição de *hidrogramas de projetos* (CANHOLI, 2005). Estes consistem numa sequência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência (TUCCI, 1998). A sequência considerada, por sua vez, caracteriza-se pelo seu volume, distribuição temporal e valor máximo (pico do hidrograma).

Segundo Canholi (2005), os elementos necessários à elaboração desses estudos correspondem fundamentalmente às características hidráulicas e geomorfológicas da bacia, suas condições de impermeabilização, tempos de concentração, assim como as precipitações de projeto. Dentre essas características, a área desempenha função importante na classificação do porte da bacia hidrográfica<sup>8</sup> e posterior categorias de ferramentas e metodologias para serem usadas nos projetos técnicos.

Nesse sentido, é fundamental classificar, de maneira preliminar, as bacias hidrográficas em pequenas, médias e grandes: (a) **bacias pequenas**, em geral, são aquelas com tempo de escoamento total sobre os terrenos da ordem de 1 hora e áreas menores que 3 km<sup>2</sup>; (b) **bacias grandes** são aquelas com área superior a 500 km<sup>2</sup>; (c) **bacias médias** estão representadas nesse intervalo entre as pequenas e grandes (PORTO, 2018).

O hidrograma de projeto é obtido a partir da transformação da chuva de projeto em cada sub-bacia e a propagação dela, pelos canais e reservatórios, até a seção de interesse. No caso de uma bacia suficientemente pequena, para que a distribuição espacial e temporal da precipitação média não crie tendenciosidade no escoamento, é possível simular o hidrograma de projeto sem discretizá-la em sub-bacias (TUCCI, 1998), tendo em vista algumas considerações que podem ser assumidas com certo critério para bacias pequenas e médias, conforme a Tabela 4.2

---

<sup>8</sup> A bacia hidrográfica é um conceito fundamental para definir dinâmicas hidrológicas que operam localmente, dado que permite delimitar fisicamente componentes diferentes e interdependentes, constituindo sistemas de entrada, transformação e saída de água. É em função da dinâmica das bacias hidrográficas que decorrem processos essenciais do ciclo hidrológico, como escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, retenção, detenção, entre outros (SILVEIRA, 2009).

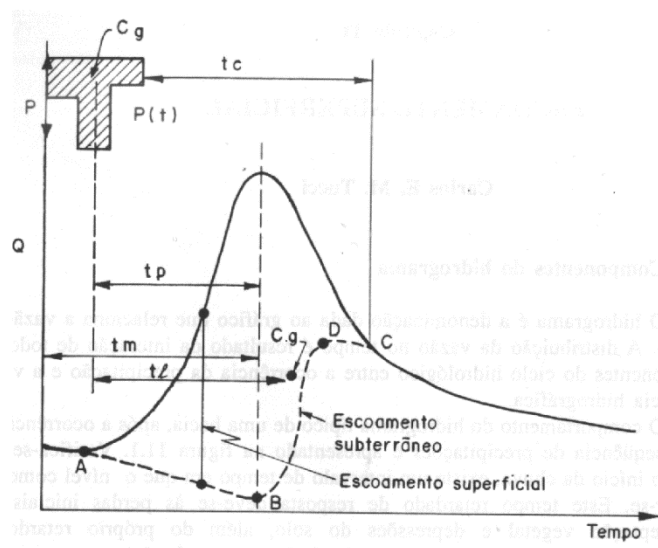
Tabela 4.2 – Características para bacias pequenas e médias.

Característica	Bacia pequena	Bacia média
Variação temporal da intensidade de chuva	Constante	Variável
Variação espacial da intensidade de chuva	Uniforme	Uniforme
Escoamento superficial	Predominantemente em superfícies	Em superfícies e canais
Armazenamento na rede de canais	Desprezível	Desprezível

Fonte: modificado de Porto (2018).

A Figura 4.2 apresenta um hidrograma típico, contendo os parâmetros temporais principais que são definidos da seguinte forma:

Figura 4.2 – Parâmetros temporais de um hidrograma típico.



Fonte: Tucci (1998).

- Tempo de retardo  $t_1$  é o intervalo de tempo entre os centros de gravidade do hidrograma e da precipitação;
- Tempo de pico  $t_p$  é definido como o intervalo de tempo entre o centro de gravidade da precipitação e o tempo em que ocorre o pico do hidrograma;
- Tempo de recessão refere-se ao intervalo de tempo entre o pico e o ponto  $C$ , onde cessa o escoamento superficial;
- Tempo de ascensão  $t_m$  é o intervalo de tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
- Tempo de concentração  $t_c$ , como já mencionado, refere-se ao intervalo de tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma;

- Tempo de base é o intervalo de tempo de duração do escoamento superficial direto, corresponde ao trecho AC.

Os métodos de cálculos normalmente empregados nos projetos possuem suas restrições e particularidades, vantagens e desvantagens e recomendações de uso. De maneira geral, pode-se dividir os métodos em dois grupos principais: aqueles baseados no **Método Racional**, recomendados para bacias pequenas, e aqueles que se utilizam do conceito do **Hidrograma Unitário**, aplicados para bacias médias. Os primeiros, mais simples de se usar e, portanto, mais restritivos, não levam em conta o processo de amortecimento da onda de cheia ao longo da bacia, nem variação temporal da intensidade da chuva (PORTO, 2018). Apesar das limitações, o Método Racional é tradicionalmente usado pelos projetos de sistemas de drenagem urbana, principalmente para galerias de águas pluviais, devido à sua grande simplicidade. Neste trabalho, porém, serão avaliados apenas métodos baseados em hidrogramas unitários, considerados mais robustos e adequados para os cenários que serão analisados para a bacia em estudo.

#### 4.1.4. Chuva de projeto

A precipitação é o principal dado hidrológico de entrada utilizado no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial. A expressão *chuva de projeto* identifica a precipitação que é definida com o objetivo de gerar um hidrograma ou vazão de projeto para determinada obra hidráulica.

Os primeiros fundamentos referem-se aos conceitos de precipitação natural e precipitação de projeto.

A precipitação natural é uma sequência cronológica de mini eventos de chuva que pode ser caracterizados, um a um, pelas seguintes variáveis (unidades usuais entre parêntesis):

- lâmina ou altura precipitada  $P$  (mm)
- duração do evento  $D$  (min)
- intensidade média precipitada  $I_{méd} = P/D$  (mm/h)
- lâmina ou altura máxima  $P_{máx}$  (mm) da sequência de intervalos de tempo  $\Delta t$  que discretizam  $D$
- intensidade máxima  $I_{máx} = P_{máx}/\Delta t$  (mm/h)
- tempo onde ocorre  $P_{máx}$  ou  $I_{máx}$  dentro da duração  $D$

A precipitação de projeto é, por sua vez, um evento crítico de chuva construído artificialmente com base em características estatísticas da chuva natural e tendo como base

parâmetros de resposta da bacia hidrográfica. Essas características estatísticas e parâmetros são levados em conta com a definição de dois elementos básicos (com as unidades usuais entre parêntesis): *período de retorno  $T_r$  da precipitação de projeto* (anos) e *duração crítica  $D_{crítica}$  do evento* (min). Convencionalmente, atribui-se o período de retorno da precipitação considerada à vazão de projeto ou ao hidrograma de projeto calculado, constituindo um ponto vulnerável das metodologias adotadas (PORTO, 2018). A duração crítica é outro elemento essencial para a definição das precipitações de projeto, uma vez que ela deve ser longa o suficiente para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial, o que significa afirmar que a precipitação efetiva (parcela da precipitação total que gera o escoamento superficial) deve ter duração igual ou maior ao tempo de concentração da bacia contribuinte.

Cabe destacar nesse momento que à medida que o projeto torna-se mais complexo, aumenta a necessidade de usar registros históricos (cronológicos) de precipitação, os quais muitas vezes não estão disponíveis. Dados de locais próximos podem ser usados, porém comprometendo de alguma forma a confiabilidade dos resultados. Ademais, em sistemas ou bacias maiores, exige-se muitas vezes não apenas a *distribuição da precipitação no tempo*, mas também sua *variação temporal*. Dados dessa natureza, no entanto, são quase inexistentes, resultando em obras de reservação e mesmo as de canalização sendo projetadas sem dispor de informações completas (CANHOLI, 2005). O fundamental, nesses casos, é *reconhecer as limitações das informações e utilizá-las de forma criteriosa* (URBONAS; STAHLRE, 1990).

Por fim, conforme escreve Porto (1991), para os projetos de redes pluviais de microdrenagem, em geral considerando bacias com áreas inferiores a 2 km<sup>2</sup>, é utilizado um bloco de chuva único, obtido diretamente da curva IDF (Intensidade-Frequência-Duração) da precipitação, que será analisada na seção seguinte, e a vazão de projeto é obtida pelo Método Racional. Para os projetos de redes pluviais de macrodrenagem, é necessário utilizar uma chuva de projeto variável, ao longo do tempo, conforme metodologias sugeridas mais adiante.

#### 4.1.5. Curvas de Intensidade-Frequência-Duração (IDF)

A precipitação máxima pontual estatística é obtida pela IDF de um dado local com base nos dados de pluviógrafos (devendo consistir numa série de dados de chuvas intensas, suficientemente longas e representativas do local de interesse), e a curva IDF fornece a intensidade da chuva (mm/h, por exemplo) para uma determinada duração e período de retorno.

A partir dos dados de precipitação, verifica-se que quanto maior a duração da chuva, menor é sua intensidade; e também que os maiores valores de intensidade são menos



frequentes. Estas relações podem ser traduzidas por curvas de intensidade-duração com determinada frequência (período de retorno). As curvas também podem ser expressas por equações genéricas, em geral com a seguinte forma:

$$I = \frac{K Tr^n}{(t + d)^m} \quad (6)$$

Em que:

I – intensidade média máxima da chuva, de duração t e período de retorno Tr

Tr – período de retorno em anos

t – duração da chuva em min

K, n, d e m – coeficientes locais, relativos ao ajuste da equação

A maioria dos métodos que estabelecem chuvas de projeto em todo o mundo baseiam-se na curva IDF e, no Brasil, são disponíveis para as principais cidades. Por exemplo, a IDF recomendada pelo município de São Carlos, conforme as Diretrizes para Drenagem Urbana da cidade (SÃO CARLOS, 2010), é a de Barbassa (1991):

$$I(\text{mm/h}) = \frac{1519 \cdot Tr^{0.236}}{(t + 16)^{0.935}} \text{ com } t(\text{min}) \quad (7)$$

Na ausência de outras informações, a composição de hietogramas a partir de curvas IDF pode ser muito útil ao projetista. No entanto, a consequência que deve ser considerada é a ocorrência de uma maximização das precipitações para cada duração, uma vez que raramente os totais precipitados máximos para cada duração acontecerão num único evento (CANHOLI, 2005).

#### 4.1.6. Tormentas padronizadas

Em especial para obras de reservação, um dos métodos mais utilizados para a definição de chuva de projeto é a adoção de chuvas padronizadas. Nesse caso, conforme Canholi (2005), assume-se implicitamente algumas hipóteses como: (i) a tormenta de projeto tem um volume equivalente ao de uma chuva observada com a mesma recorrência; (ii) a distribuição temporal da chuva adotada é representativa de uma precipitação ocorrida; (iii) a chuva é considerada uniformemente distribuída na bacia.

A despeito das críticas a esses métodos, uma vez que não reproduzem adequadamente a frequência de ocorrência do volume dos deflúvios, Urbonas e Stahre (1990) avaliam que a inexistência de dados locais impõe que as tormentas padronizadas sejam utilizadas amplamente, sobretudo conforme seus estudos realizados na Europa e nos EUA.

#### 4.1.7. Determinação da precipitação efetiva: Método do SCS

Para a obtenção do hidrograma de projeto, em função de determinado período de retorno, é necessário quantificar a precipitação que gera o escoamento superficial. Essa precipitação é conceituada como *precipitação efetiva* ou *útil* e representa a diferença entre a quantidade de água precipitada e as perdas devido à interceptação, retenção e infiltração, nos terrenos da bacia.

A literatura apresenta vários métodos para o cálculo da precipitação efetiva, sendo o método do *Soil Conservation Service* (SCS), um dos mais populares na área, devido a sua simplicidade.

O método baseia-se na definição de uma grandeza designada capacidade máxima de retenção da bacia hidrográfica, que quantifica a capacidade da bacia para reter água não utilizável na produção do escoamento superficial.

A capacidade máxima de retenção,  $S$ , é calculada pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Sendo:

$S$  – capacidade máxima de retenção segundo o SCS (mm)

CN – número de deflúvio, segundo o SCS

As perdas iniciais para o escoamento superficial  $I_a$  devidas à interceptação, retenção e infiltração, segundo o SCS, são determinadas pela seguinte expressão:  $I_a = 0,20 * S$ .

A precipitação efetiva é calculada como:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{se } P > I_a \quad (9)$$

$$P_e = 0 \quad \text{se } P \leq I_a$$

Com:

$P_e$  – precipitação efetiva (mm)

$P$  – precipitação total (mm)

$S$  – capacidade máxima de retenção da bacia (mm)

$I_a$  – perdas iniciais para o escoamento superficial (mm)

A maneira mais prática de uso do método é feita pela substituição das parcelas  $S$  e  $I_a$  na equação precedente, que resulta em:

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,8\right)^2}{\left(P + \frac{20320}{CN} - 203,2\right)} \quad \text{se } P > \left(\frac{5080}{CN} + 50,8\right) \quad (10)$$

$$P_e = 0 \quad \text{se } P \leq \left(\frac{5080}{CN} + 50,8\right)$$



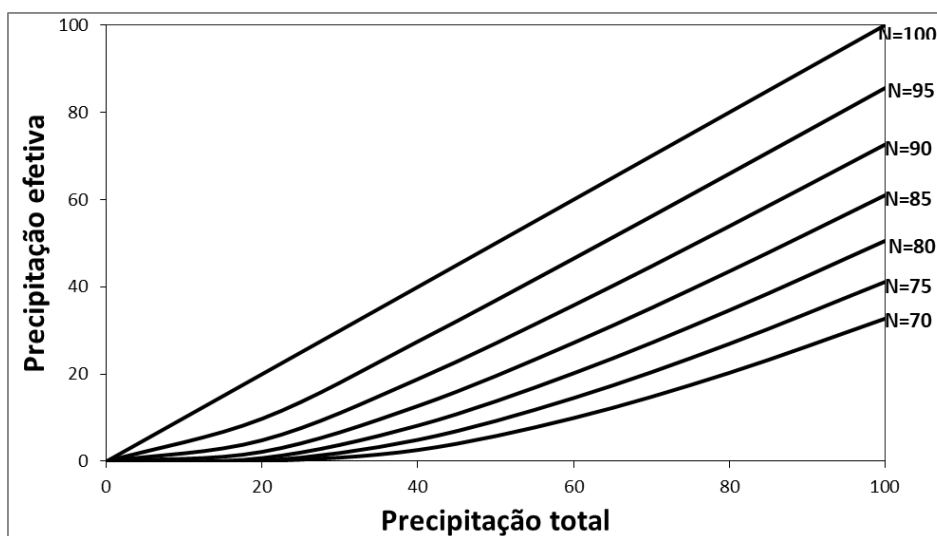
Deve ser observado que na expressão precedente tanto  $P$  quanto  $P_e$  são precipitações acumuladas.

Em geral, em áreas urbanas os valores de CN, a serem discutidos adiante, variam entre 60 e 95, dependendo do tipo, uso e ocupação do solo. A expressão do método pode ser utilizada para determinar o hietograma de precipitação efetiva a partir do hietograma de precipitação total.

Como se observa na Figura 4.3, que apresenta a relação entre a precipitação efetiva e total, estabelecida pelo modelo do SCS, a parcela da precipitação efetiva aumenta com o número de deflúvio CN, para a mesma precipitação total, até o limite de  $CN = 100$ , bacia totalmente impermeável, precipitação efetiva igual à total.

Para bacias com áreas de diferentes coberturas deve-se determinar uma média ponderada do parâmetro CN, usando os valores recomendados mostrados mais adiante.

Figura 4.3 – relação gráfica entre a precipitação efetiva e total.



Fonte: Porto (2018).

O parâmetro  $CN$  depende dos seguintes fatores: tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo, umidade antecedente do solo. No processo de transformação chuva-vazão o parâmetro  $CN$  é o mais importante e sensível e, portanto deve ser adotado com muito critério:

#### I) Tipos de solo

**Grupo A** - Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

**Grupo B** - Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

**Grupo C** - Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30% mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se, a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

**Grupo D** - Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

## II) Condições de uso e ocupação do solo

A Figura 4.4 fornece valores de CN para os diferentes tipos de solo e respectivas condições de ocupação. Cabe ressaltar que essa tabela refere-se à Condição II de umidade antecedente do solo.

## III) Condições de umidade antecedente do solo

O método do SCS distingue 3 condições de umidade antecedente do solo.

**Condição I** - solos secos - as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15mm.

**Condição II** - situação média na época de cheias - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40mm.

**Condição III** - solo úmido (próximo da saturação) - as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

A Figura 4.5 permite converter o valor de CN para as condições I ou III, dependendo da situação que se desejar representar. A Condição II é utilizada normalmente para a determinação do hidrograma do escamento superficial direto, em projeto de obras correntes em drenagem urbana.





Figura 4.4 – Valores de CN em função da cobertura e do tipo de solo (Condição II de umidade).

## Valores de CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

## Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de solos			
	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 em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, 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 <sup>2</sup> )	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
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

Fonte: Tucci (1998).

Figura 4.5 – Conversão de CN para as diferentes Condições de Umidade do solo.

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: Tucci (1998).

#### 4.1.8. Variação temporal da precipitação e hietograma efetivo

A variação no tempo dos volumes precipitados, durante a duração do episódio chuvoso, influencia notavelmente a forma do hidrograma do escoamento superficial. Tanto a vazão de pico quanto a ocorrência do tempo de pico são fundamentalmente dependentes de como se distribuem as intensidades da precipitação, ao longo da duração da chuva.

O hietograma é uma maneira gráfica de representar as intensidades, ou de modo mais prático, as alturas de água, desde o início da precipitação, discretizado em intervalos constantes de tempo. Em geral a representação se dá em gráfico na forma de barras.

Devido à variabilidade e complexibilidade dos fenômenos físicos que influenciam a distribuição dos volumes precipitados, ao longo da duração da chuva, alguns métodos empíricos são propostos na literatura, para rearranjar as lâminas de água ao longo do tempo.

São analisadas quatro destas propostas:

- I) Método dos blocos alternados
- II) Método dos blocos sequencias do USBR
- III) Método dos blocos sequencias do USBR modificado
- IV) Método de Huff

Em todos os três primeiros métodos a sequencia inicial de procedimentos é a mesma.

- Seleciona-se a duração da chuva e o intervalo de discretização. Em drenagem urbana esta discretização é, em geral, de 5 a 10 minutos.



- Usando a equação IDF do local, para um período de retorno fixado, determinam-se as intensidades da chuva para cada duração.
- As intensidades são transformadas em lâminas de chuva e acumuladas até o último intervalo de tempo.
- Determinam-se os incrementos dos totais acumulados.
- Finalmente os incrementos ou blocos são rearranjados em uma determinada sequência, conforme o método adotado.
- A partir daí utilizando o método do SCS, pode-se determinar o hietograma de projeto da chuva efetiva para gerar o hidrograma de projeto.

### **I) Método dos blocos alternados**

De posse dos incrementos ou blocos obtidos, estes são rearranjados numa sequência tal que, no centro da duração da chuva, situe-se o bloco de maior altura, e os demais são dispostos em ordem decrescente, um à direita e outro à esquerda do bloco maior, e assim alternadamente.

### **II) Método dos blocos sequenciais do USBR**

Uma proposta adaptada da recomendação do USBR aplicada para bacia de porte médio à drenagem urbana é rearranjar os blocos, seguindo-se os quatro primeiros passos da rotina anterior, da seguinte maneira: **P<sub>6</sub> , P<sub>4</sub> , P<sub>3</sub> , P<sub>1</sub> , P<sub>2</sub> , P<sub>5</sub> , P<sub>7</sub> , P<sub>8</sub> , P<sub>9</sub> , etc.**

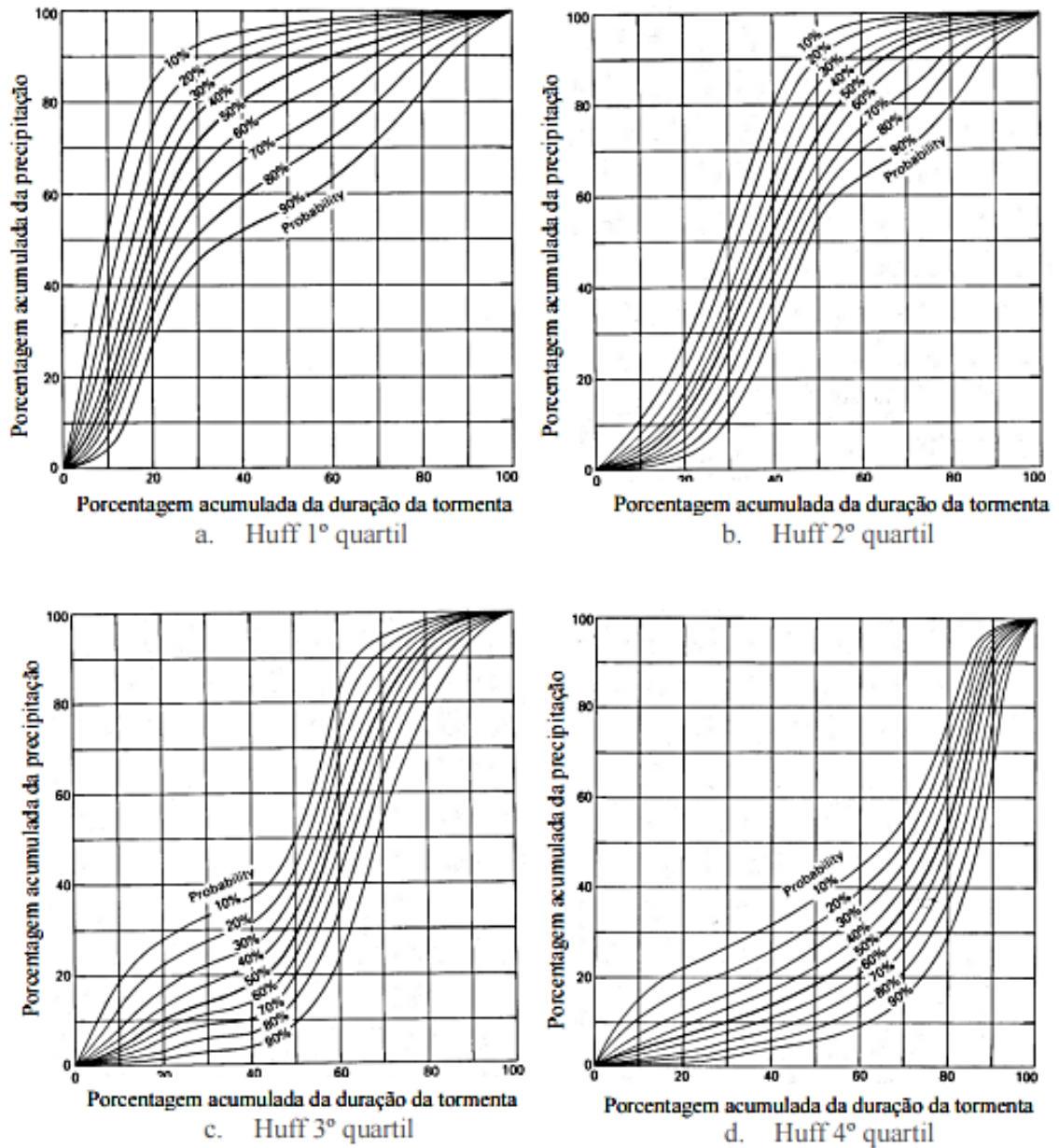
### **III) Método dos blocos sequenciais do USBR modificado**

A mesma proposta anterior com pequena alteração no sequenciamento dos blocos, na ordem: **P<sub>6</sub> , P<sub>3</sub> , P<sub>1</sub> , P<sub>2</sub> , P<sub>4</sub> , P<sub>5</sub> , P<sub>7</sub> , P<sub>8</sub> , P<sub>9</sub> , etc.**

### **IV) Método de Huff**

A distribuição temporal da chuva de projeto também pode ser obtida utilizando a distribuição de Huff (1967), método que foi elaborado empiricamente nos Estados Unidos. O histórico de chuvas foi dividido em quatro grupos em função do seu pico de intensidade e da sua variação ao longo do tempo. Dentre estes grupos, chamados de quartis, o primeiro quartil representa as chuvas de menor duração e maior intensidade e é recomendado para representar chuvas em bacias urbanas. A Figura 4.6 apresenta a distribuição adimensional de precipitações para os quatro quartis de Huff.

Figura 4.6 – Distribuição de Huff nos quatro quartis e probabilidade de ocorrência.



Fonte: Adaptado de Huff (1967).

No caso específico do primeiro quartil, recomendado para duração da chuva abaixo de 12 horas, portanto, aplicável à drenagem urbana, a Figura 4.7 fornece os coeficientes para uma probabilidade de ocorrência de 50%, com a percentagem de tempo discretizada de 5 em 5%.

Figura 4.7 – coeficientes para probabilidade de ocorrência de 50%, com a percentagem de tempo discretizada em intervalos de 5%.

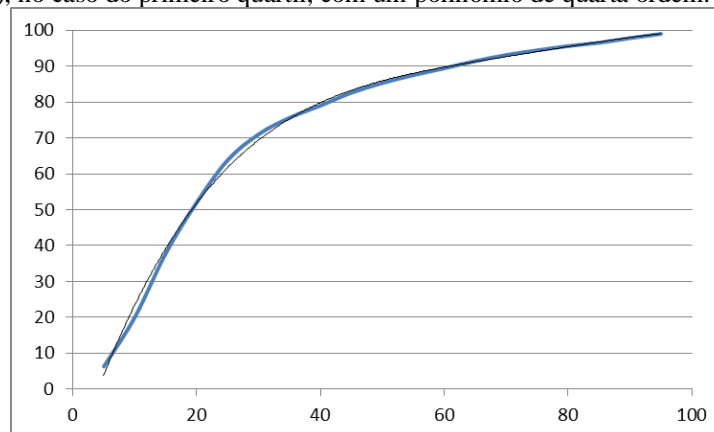
Distribuição Temporal de Huff - 1º quartil – probabilidade 50%.

Tempo (%)	Precipitação Acumulada (%)	Precipitação no Intervalo
0	0	0
5	6,3	6,3
10	20	13,7
15	37,8	17,8
20	52	14,2
25	63,8	11,8
30	71	7,2
35	75,6	4,6
40	79	3,4
45	82,6	3,6
50	85,3	2,7
55	87,5	2,2
60	89,4	1,9
65	91,4	2
70	93,1	1,7
75	94,4	1,3
80	95,6	1,2
85	96,5	0,9
90	97,8	1,3
95	99	1,2
100	100	1

Fonte: Huff (1967).

Para outras percentagens de tempo diferentes daquelas apresentadas na Figura 4.7, com a finalidade de se evitar interpolações, foi ajustado, conforme a Figura 4.8, um polinômio de quarta ordem, com coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9978$ , dado por:

Figura 4.8 – Ajuste realizado a partir dos coeficientes para probabilidade de ocorrência de 50% de Huff (1978), no caso do primeiro quartil, com um polinômio de quarta ordem.



Fonte: modificado de Porto (2018).

$$P_{\text{acum}}(\%) = -0,000002942 t(\%)^4 + 0,0008816 t(\%)^3 - 0,099152 t(\%)^2 + 5,2374 t(\%) - 19,914 \quad (11)$$

#### 4.1.9. Métodos baseados no Hidrograma Unitário

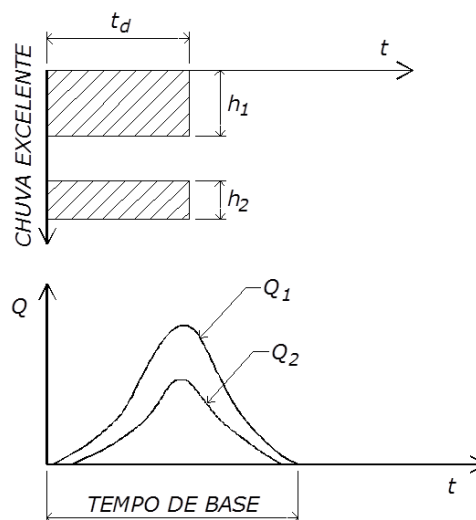
*Hidrograma Unitário* (H.U.) é definido como o hidrograma gerado por uma altura de chuva efetiva unitária, 1 cm, uniformemente distribuída sobre a bacia, com duração específica, denominada *chuva unitária*. O hidrograma unitário está intimamente associado à duração da chuva considerada. Desta forma, para uma chuva efetiva de 1 cm, uniformemente distribuída sobre a bacia, e com duração de 30 minutos, tal hidrograma é dito *hidrograma unitário de 30 min de duração*.

O conceito do hidrograma unitário foi proposto por Leroy Sherman nos anos 30 e baseia-se em três princípios.

##### 1º Princípio: Constância do tempo de base

Para uma dada bacia hidrográfica, a duração do deflúvio direto é constante para toda chuva, considerada uniformemente distribuída, de intensidade constante e igual duração, qualquer que seja o volume escoado superficialmente (Figura 4.9). Em outras palavras, para chuvas de igual duração, as durações dos escoamentos superficiais correspondentes são iguais.

Figura 4.9 – Constância do tempo de base.



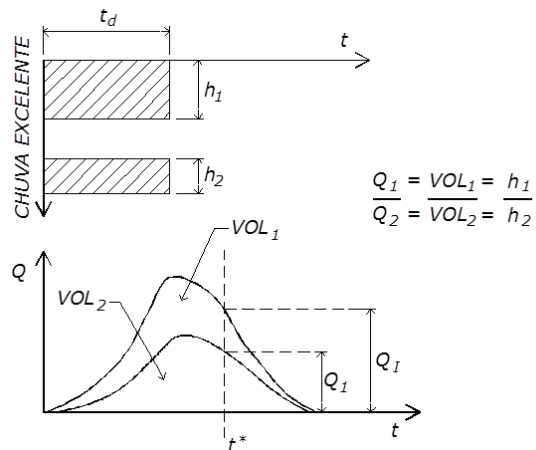
Fonte: Porto (2018)

### 2º Princípio: Proporcionalidade das descargas

Duas chuvas de mesma duração, ambas uniformemente distribuídas e de intensidade constante, mas produzindo volumes escoados diferentes, resultam em hidrogramas cujas ordenadas são proporcionais aos correspondentes volumes totais escoados (Figura 4.10).

Nesse sentido, conhecendo-se o H.U. para uma determinada duração de chuva excedente unitária, é possível determinar o hidrograma resultante de uma chuva de intensidade qualquer e mesma duração.

Figura 4.10 – Proporcionalidade das descargas

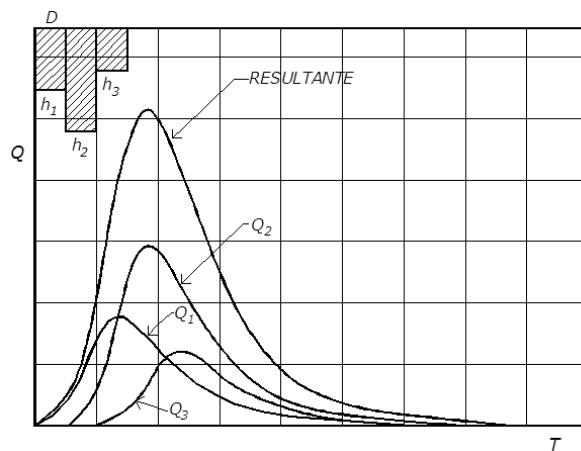


Fonte: Porto (2018)

### 3º Princípio: Princípio da aditividade

As precipitações anteriores não influenciam a distribuição no tempo do escoamento superficial de determinada precipitação. O hidrograma resultante é a soma das ordenadas dos hidrogramas parciais em tempos correspondentes (Figura 4.11).

Figura 4.11 - Princípio da aditividade ou superposição



Fonte: Porto (2018)

Dessa forma, os hidrogramas podem ser superpostos para produzir o hidrograma final, gerado por um hietograma qualquer, desde que o mesmo seja dividido em blocos de chuva com duração igual à duração do hidrograma unitário. Assim o processo geométrico, em que cada bloco de chuva  $h_i$  produz um hidrograma  $Q_i$  defasado de uma unidade de tempo, pode ser definido, produzindo o hidrograma total  $Q$ , somando as ordenadas dos diversos hidrogramas  $Q_i$ , em instantes correspondentes.

O H.U. de uma bacia hidrográfica pode ser levantado desde que se tenham dados de precipitação e hidrogramas reais observados, situação que, como já comentado, em geral não se verifica em pequenas bacias urbanas.

Assim, lança-se mão de processos e formulações empíricas para gerar o H.U., os quais são denominados *Hidrogramas Unitários Sintéticos*.

#### 4.1.9.1. Hidrogramas unitários sintéticos

Entre os hidrogramas unitários sintéticos utilizados em projetos hidrológicos podem ser citado o método de Snyder (1938) que estabelece equações que fornecem o tempo de retardamento da bacia, a vazão de pico e o tempo de base do hidrograma. Tal método é recomendado para bacias rurais de portes maiores que as bacias urbanas. Outra metodologia proposta como adaptação do método de Snyder para ser usado em bacias urbanas é o CUHP (*Colorado Urban Hydrograph Procedure*).

Esse método é de aplicação laboriosa, pois necessita de parâmetros cartográficos como centro de massa da bacia, declividade média do talvegue, fração impermeável da área, traçado mais ou menos a sentimento do hidrograma, além de não ser prático para o desenvolvimento via planilhas eletrônicas, etc.

Outros dois hidrogramas unitários sintéticos, um sendo caso particular do outro, são o Hidrograma Unitário Sintético Curvilíneo do S.C.S (H.U.C.) e o Hidrograma Unitário Sintético Triangular do S.C.S (H.U.T). São os mais usados na prática de drenagem urbana.

O H.U.C. foi desenvolvido por Victor Mockus no início dos anos 1950, após análise de vários hidrogramas significativos, de diversas bacias rurais, em variadas regiões dos USA.

Mockus definiu um hidrograma unitário adimensional padronizado, mostrando que durante os eventos significativos a relação entre o tempo de pico  $T_p$  e o tempo de base  $T_b$  era  $T_b = 5 T_p$ .

As características de tal H.U. são mostradas na Tabela 4.3 e Figura 4.12.



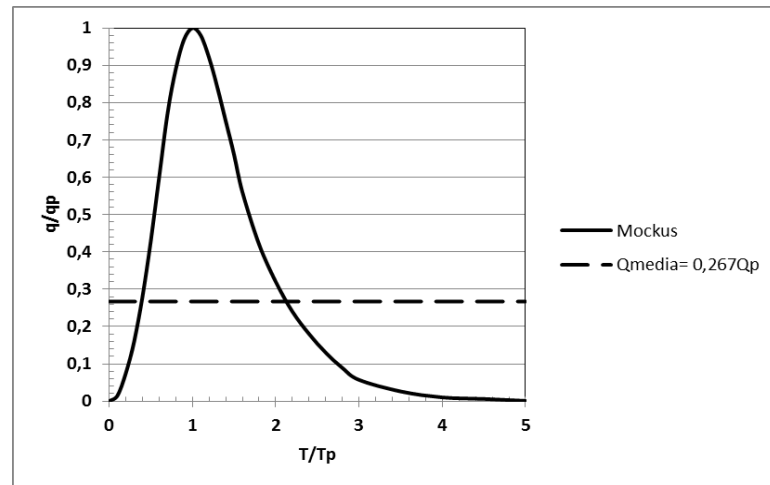


Tabela 4.3 – H.U.C. de Mockus, em que  $q_q$  é a vazão de pico e  $T_p$  o tempo de pico.

<b>T/T<sub>p</sub></b>	<b>q/q<sub>p</sub></b>	<b>Volume</b>
	H.U.C	H.U.C
0,0	0,000	0,000
0,1	0,015	0,001
0,2	0,075	0,005
0,3	0,160	0,017
0,4	0,280	0,039
0,5	0,430	0,075
0,6	0,600	0,126
0,7	0,770	0,195
0,8	0,890	0,278
0,9	0,970	0,371
1,0	1,000	0,469
1,1	0,980	0,568
1,2	0,920	0,663
1,3	0,840	0,751
1,4	0,750	0,831
1,5	0,660	0,901
1,6	0,560	0,962
1,8	0,420	1,060
2,0	0,320	1,134
2,2	0,240	1,19
2,4	0,180	1,232
2,6	0,130	1,263
2,8	0,089	1,285
3,0	0,057	1,300
3,5	0,026	1,320
4,0	0,010	1,329
4,5	0,006	1,333
5,0	0,001	<b>1,335</b>

Fonte: modificado de Porto (2018).

Figura 4.12 – H.U.C. de Mockus, em que  $q_q$  é a vazão de pico e  $T_p$  o tempo de pico.



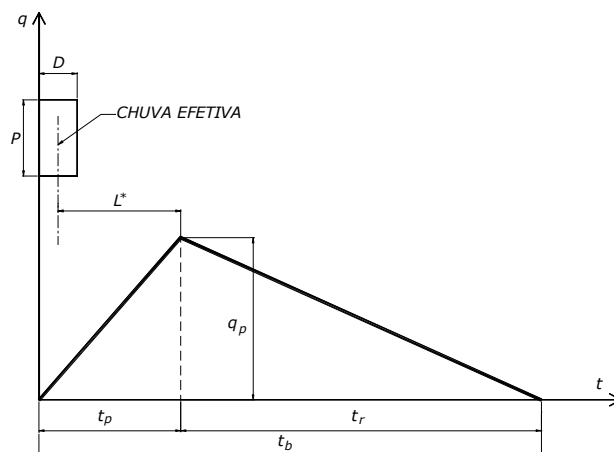
Fonte: Porto (2018).

O volume total unitário desse hidrograma é 1,335 e a vazão média adimensional (altura de um retângulo de área igual à área abaixo da curva) é  $5 \cdot q_m/q_p = 1,335$  daí  $q_m = 0,267 q_p$  ou  $q_p = 3,7453 q_m$ .

O Hidrograma Unitário Triangular (H.U.T.), largamente difundido, é um caso particular do hidrograma de Mockus. O método foi desenvolvido, para facilidade dos cálculos, como uma aproximação em forma triangular do H.U.C. Mais adiante será feita uma comparação entre os dois hidrogramas, bem como um ajuste do H.U.C. através de uma função tipo Gama, o que permite automatizar os cálculos em uma planilha, sem necessidade de processo de interpolação na Tabela 4.3, para determinado intervalo temporal  $\Delta t$  especificado.

O método do H.U.T., mostrado na Figura 4.13, requer unicamente a determinação da vazão de pico e do tempo de pico.

Figura 4.13 – Hidrograma Unitário Triangular típico.



Fonte: Adaptado de Tomaz (2002).



Na Figura 4.13,  $D$  é a duração unitária da chuva efetiva,  $t_r$  o tempo de recessão,  $t_p$  o tempo de pico e  $L^*$  o “Lag-time”, tempo de retardamento e  $P$  a precipitação unitária.

Sendo  $A$  a área da bacia o volume precipitado pela chuva efetiva vale  $Vol_p = P A$  e o volume escoado superficialmente, volume gerado pela chuva efetiva, é por definição de hidrograma unitário, igual a área do triângulo:

$$Vol_{esc} = 1/2 t_p q_p + 1/2 t_r q_p \rightarrow P A = 1/2 (t_p + t_r) \rightarrow q_p = 2 P A / (t_p + t_r)$$

Fazendo  $t_r = \alpha t_p$ , segue que  $q_p = 2 P A / (t_p (1 + \alpha))$ .

Para  $P$  em cm,  $A$  em  $km^2$  e  $t_p$  em h, fica:  $q_p = 2,78 * 2 P A / (t_p (1 + \alpha))$  ( $m^3/s$ )

O valor médio de  $\alpha$ , recomendado pelo S.C.S, vale  $\alpha = 1,67$ . A experiência do S.C.S mostra que o tempo de retardamento é 60% do tempo de concentração da bacia:  $L^* = 0,6 t_c$

Portanto  $q_p = 5,56 P A / (2,67 t_p) = 2,08 P A / t_p = 2,08 P A / (D/2 + L^*)$

E finalmente:

$$q_p = \frac{2,08 P A}{D/2 + 0,6 t_c} \text{ (m}^3\text{/s/cm), com } A \text{ (km}^2\text{), } t_c \text{ (h), } D \text{ (h) e } P = 1 \text{ cm} \quad (12)$$

O S.C.S recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_c/5$ .

#### 4.1.9.2. Comparação entre o H.U.C. e o H.U.T.

Para manter a posição do pico e a condição de volumes, o H.U.T. necessita ter uma redução do tempo de base de 5,0 para 2,67.

H.U.C.

Volume do H.U.C. = 1,335

Relação vazão de pico/vazão média = 3,7453

Base do H.U.C. ( $T_b/T_p$ ) =  $1,335 \times 3,7463 = 5,0$

H.U.T.

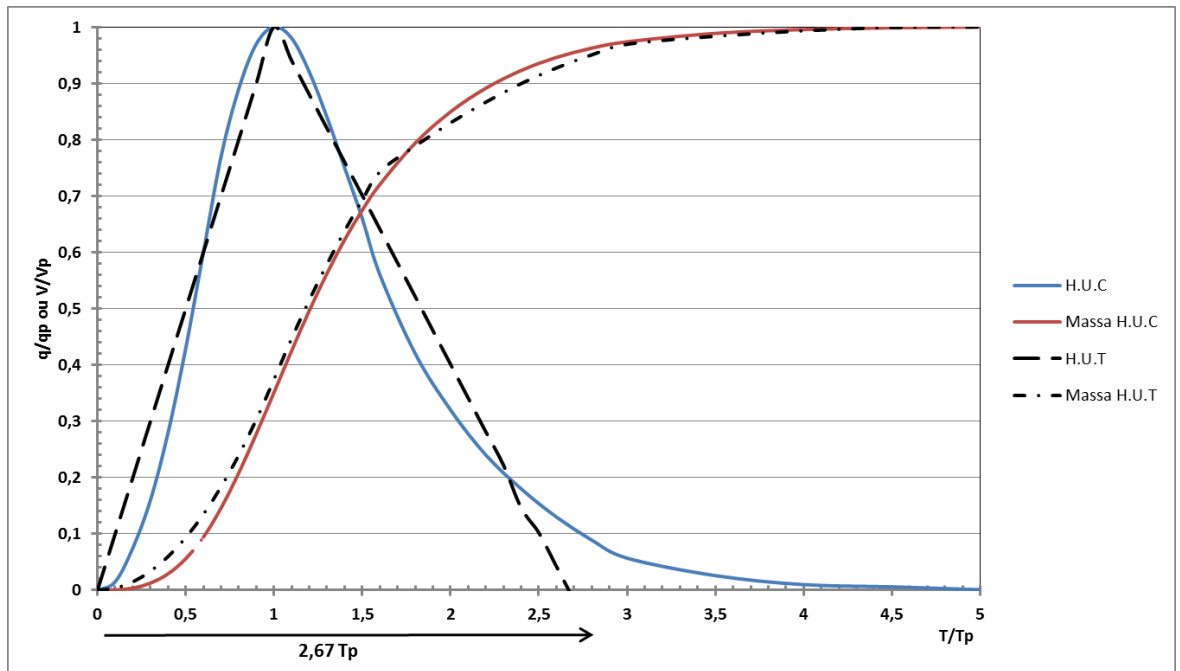
Volume do H.U.T. = 1,335

Relação vazão de pico/vazão média = 2,0

Base do H.U.T. ( $T_b/T_p$ ) =  $1,335 \times 2,0 = 2,67$

Uma comparação que justifica a aproximação entre os dois hidrogramas é mostrada na Figura 4.14, em que as curvas de massa (volume unitário parcial dividido pelo volume unitário total de 1,335) são bem próximas.

Figura 4.14 – Comparação entre o H.U.C. e o H.U.T.



Fonte: Porto (2018).

#### 4.1.9.3. Aproximação do hidrograma de Mockus pela função tipo Gama

Uma aproximação comumente utilizada em estudos desta natureza é representar o hidrograma de projeto, ou o próprio H.U.C., por uma expressão matemática do tipo distribuição Gama, que tem a forma:

$$q(t) = At^n e^{-Bt} \quad (13)$$

onde  $A$  e  $B$  são constantes e  $n$  um parâmetro que reflete o aspecto do hidrograma, denominado fator de aspecto. As constantes  $A$  e  $B$  podem ser determinadas uma vez que as características físicas do processo são tais que, para  $t = t_p$ , tem-se:

$$q(t) = q_p \text{ e } \left[ \frac{dq(t)}{dt} \right]_{t=t_p} = 0$$

A derivação da equação 13 permite determinarem-se as constantes  $A$  e  $B$ , que são:

$$A = \frac{q_p \cdot e^n}{t_p^n} \quad \text{e} \quad B = \frac{n}{t_p}$$

Deste modo o hidrograma é representado por:

$$q(t) = \frac{q_p \cdot e^n}{t_p^n} t^n e^{-n \left(\frac{t}{t_p}\right)} = q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^n \cdot e^{-n \left(1 - \frac{t}{t_p}\right)}$$

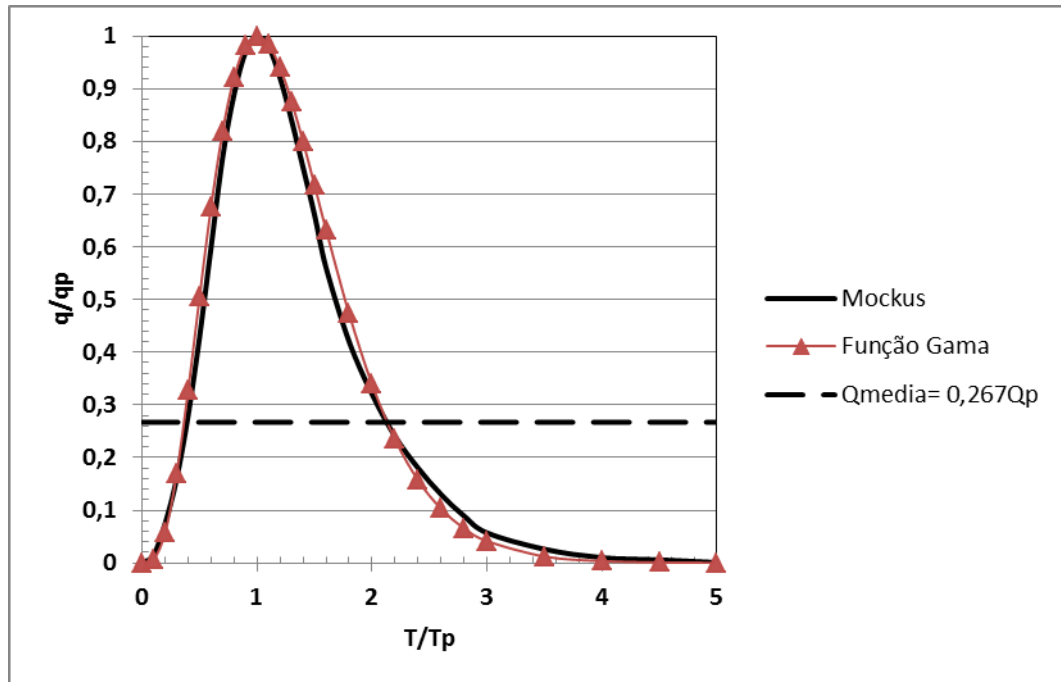
ou de forma adimensional, como:



$$Q(T) = \frac{q(t)}{q_p} = T^n e^{-nT} \quad , \text{ com } T = t/t_p \quad (14)$$

A equação 14 com um fator de aspecto  $n = 3,53$  é colocada em gráfico (Figura 4.15), mostrando o ajuste com o hidrograma adimensional de Mockus.

Figura 4.15 – Comparação entre o H.U.C. e a função tipo Gama.



Fonte: Porto (2018).

O ajuste pode ser considerado muito bom e permite substituir o hidrograma adimensional por uma função contínua, facilitando o emprego do método através de uma planilha, sem necessidade de interpolações na Tabela 4.3.

#### 4.1.10. Processo de convolução

Conforme a Figura 24, o hidrograma resultante da ação de cada bloco de chuva efetiva sobre o H.U. é a soma das ordenadas dos hidrogramas parciais, defasados de um tempo igual a duração unitária estabelecida, somando-se as ordenadas em tempos correspondentes.

Este procedimento é análogo ao procedimento da *linha de influência* na análise estrutural e o hidrograma unitário pode ser considerado como uma espécie de linha de influência da bacia de drenagem contributiva.

Este processo pode ser automatizado em uma planilha através do processo matemático da convolução.

Convolução é a operação matemática entre duas funções P e U, dando origem a uma terceira função Q que pode ser vista como uma das funções modificadas.

Em hidrologia a função P são as chuvas excedentes em cm, obtidas principalmente pelo método do S.C.S e espaçadas em blocos com intervalo de tempo  $\Delta t$ .

A função U é o hidrograma unitário sintético em  $m^3/s/cm$ , gerado pelo método de Mockus espaçados no intervalo de tempo  $\Delta t$ , ou por qualquer outro método.

A função resultante é o escoamento superficial, ou seja, o *runoff* Q em  $m^3/s$ , espaçado no intervalo de tempo  $\Delta t$ .

$$Q_1 = P_1 \cdot U_1$$

$$Q_2 = P_2 \cdot U_1 + P_1 \cdot U_2$$

$$Q_3 = P_3 \cdot U_1 + P_2 \cdot U_2 + P_1 \cdot U_3$$

.....

$$Q_j = P_j \cdot U_1 + P_{j-1} \cdot U_2 + \dots + P_1 \cdot U_j$$

$$Q_{j+1} = 0 + P_j \cdot U_2 + \dots + P_1 \cdot U_{j+1}$$

.....

$$Q_k = 0 + 0 + 0 + 0 \dots + P_j \cdot U_{k-j+1}$$

Sendo:

Chuva excedente: Função (P) =  $P_1, P_2, P_3 \dots P_j$

Hidrograma unitário: Função (U) =  $U_1, U_2, U_3 \dots U_j$

*Runoff*: Função (Q) =  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots Q_k$

Além desta metodologia algébrica, pode-se obter o hidrograma final por meio de uma operação matricial da seguinte forma:  $[Q]_{k \times 1} = [U]_{k-j+1} \times [P]_{k \times (k-j+1)}$

É importante observar que a discretização temporal  $\Delta t$  nas duas funções U e P seja a mesma.



## 5. Um ensaio possível: o estudo de caso da bacia Santa Maria do Leme

### 5.1. A construção da forma urbana de São Carlos e as águas urbanas: perspectivas para a bacia Santa Maria do Leme

*[C'è] un paesaggio invisibile [che] condiziona quello visibile*<sup>9</sup> (CALVINO, 2016, p. 20).

A cidade de São Carlos imprimiu em seu processo de urbanização lógicas que orientaram e consolidaram o modo de produção das cidades brasileiras de forma geral. Os rios presentes dentro do território urbanizado explicitam esses valores ao se apresentarem segregados da vida na cidade (LIMA; SCHENK, 2016). Nesse quadro, o que se nota é a hegemonia de um conjunto de práticas convencionais da drenagem que, acumuladas, reduziram (e buscaram controlar) a presença de cursos d'água para a contiguidade da malha de vias ortogonais e para a execução de avenidas marginais, sob a perspectiva do automóvel. A visibilidade dessas questões pode ser apresentada a partir do processo de construção da forma urbana da cidade.

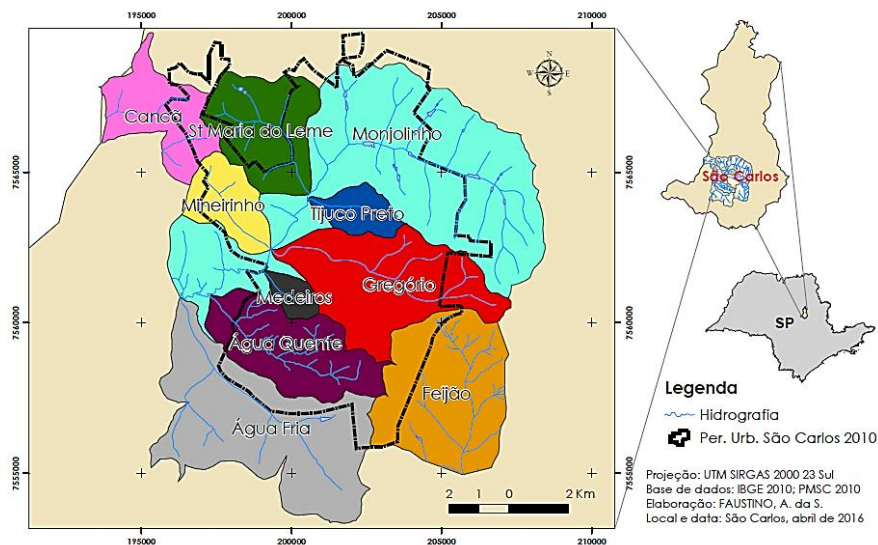
O município de São Carlos, no interior do Estado de São Paulo, com uma população estimada próxima de 249 mil habitantes e quase 96% urbana (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2018), está situado sobre o divisor de águas de duas Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGHRI) – a Mogi-Guaçu e a Tietê-Jacaré. A delimitação do perímetro urbano recobre, total ou parcialmente, a porção de 10 bacias hidrográficas (Figura 5.1).

<sup>9</sup> Em sua obra *Le città invisibili*, Italo Calvino narra as histórias que um viajante veneziano, Marco Polo, apresenta ao imperador Kublai Khan sobre uma variedade de cidades ficcionais, atrelando-as a seus símbolos, memórias, sinais, desejos, nomes, entre outras reflexões. Nesse conjunto de territórios, inscreve-se Isaura, cidade dos mil poços e de um imenso lago “sepultado”. O viajante apresenta esse território da seguinte forma, sobretudo ao observar o seu perímetro verdejante: “uma paisagem invisível condiciona aquela visível” (CALVINO, 1972, p. 20, tradução nossa).





Figura 5.1 – Cartografia localizando o perímetro urbano do município de São Carlos e as bacias hidrográficas.



Fonte: Faustino (2017).

A cidade tem sua origem associada à constituição das rotas de produção do café no final do século XIX, sendo que seus primeiros assentamentos surgem na década de 1850, orientados principalmente pela linha férrea e proximidade com a estação ferroviária (LIMA, 2007). O núcleo urbano inicial se concentrou na bacia do córrego do Gregório, atualmente compondo o centro histórico da cidade. A partir da década de 1950, São Carlos tem seu desenvolvimento marcado pela produção industrial e, nesse contexto, durante os anos 1968 a 1974, são realizadas as primeiras obras de retificação e canalização (Figura 5.2) para a construção de vias junto aos córregos Tijuco Preto, Monjolinho e Gregório, estabelecendo novos eixos de expansão que coincidem com essa rede hídrica, o que expandiu os problemas de inundações<sup>10</sup>, até então concentradas na área central (Figura 5.3), para outras porções da cidade (LIMA; SCHENK, 2016).

Figura 5.2 – À esquerda: obra de canalização e tamponamento do córrego do Gregório, na década de 1970, num trecho em frente ao Mercado Municipal. À direita: execução das vias marginais em 1974.



Fonte: Fundação Pró-memória de São Carlos.

<sup>10</sup> As inundações mais frequentes na bacia do Gregório envolvem perdas de até R\$ 500.000,00 por inundação (Projeto FINEP, 2002 *apud* MENDES et al., 2007).

Figura 5.3 – À esquerda: inundações na década de 1970 no centro histórico de São Carlos. À direita: grande evento de inundação durante episódio de chuva intensa no dia 20/03/2018, ocorrido próximo das 13:30, também no centro da cidade.



Fonte: Fundação Pró-memória de São Carlos; G1 São Carlos (2018).

Nesse período, as principais legislações foram negligenciadas diante da atuação expressiva da especulação imobiliária, resultando num processo de ocupação descontínuo e fragmentado, e de maneira significativa sobre áreas ambientalmente frágeis. Segundo Silva (2010), as Áreas de Preservação Permanente foram consideradas para urbanização como qualquer outra terra existente na região. A partir desse momento, intensifica-se a situação de corpos d'água – entendidos como obstáculos ao fluxo de transporte e consumo – sobrepostos e eclipsados pela malha urbana.

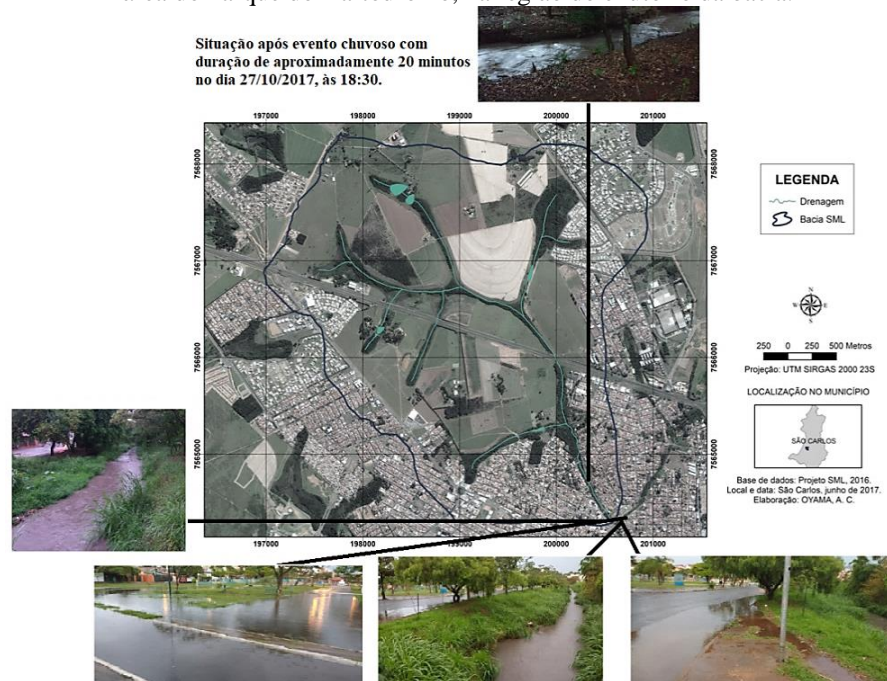
Nos anos 1990, na região de confluência entre os córregos Monjolinho, Santa Maria do Leme (SML) e Tijuco Preto registram-se casos de frequentes inundações, de alguma forma amortecidas pelo Parque do Kartódromo e entorno (MENDES; MENDIONDO, 2007). Trata-se de uma situação que apresenta certa recorrência ainda hoje (Figuras 5.4 e 5.5).

Figura 5.4 – Inundação recente em bairro próximo ao encontro entre os córregos Monjolinho e Santa Maria do Leme.



Fonte: ONG Veredas, Caminho das Nascentes.

Figura 5.5 – Registro de fotos após chuva em 2017, destacando a bacia Santa Maria do Leme (SML) e a área do Parque do Kartódromo, na região do exutório da bacia.



Fonte: próprio autor.

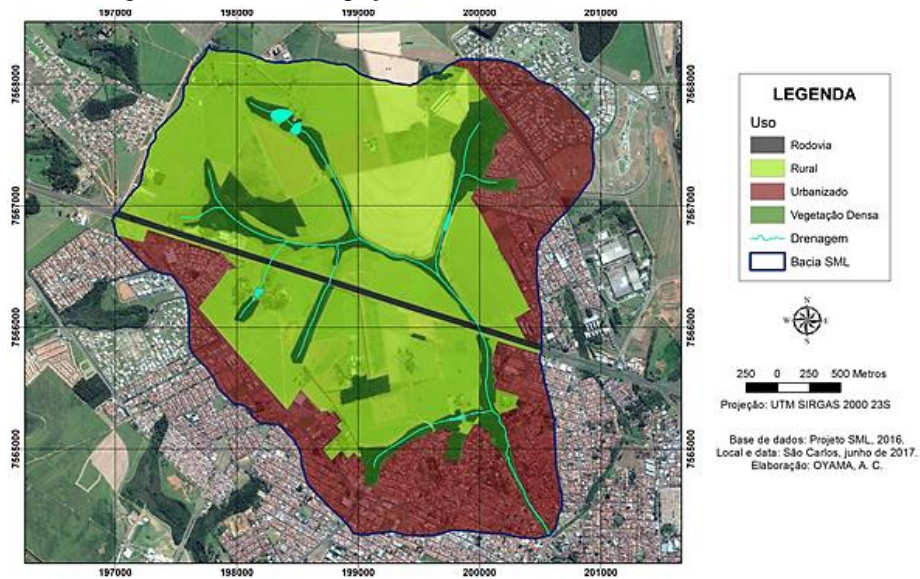
Com o advento dos anos 2000, a cidade já se encontra espalhada e socialmente segregada, com a população mais pobre distante da infraestrutura instalada e ocupando áreas ambientalmente mais sensíveis, conforme Schenk e Peres (2014).

Ainda segundo essas autoras, o Plano Diretor de 2005 buscou novas posturas para ordenar a expansão urbana do município, radiografando a cidade de maneira a apontar o conflito entre meio ambiente e cidade como um problema que necessita de adequado enfrentamento. Na revisão desse Plano, aprovado em 2016, as diretrizes conservaram as propostas iniciais, orientando a direção dos vetores de crescimento da cidade para as regiões de menor fragilidade ambiental, além de estimular a ocupação de vazios urbanos e de definir áreas de interesse ambiental contíguas aos corpos d'água nos locais em que suas margens não se encontrassem completamente impermeabilizadas.

Ainda conforme as autoras, algumas áreas do território protagonizam a pressão por ocupação: a região sul, área de recarga do Aquífero Guarani, onde se verifica um dos vetores de expansão urbana, fomentada por empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida; a região, a nordeste, de mananciais do Rio Monjolinho; e áreas da bacia do Córrego Santa Maria do Leme, a qual remanesce com expressiva área permeável em meio à mancha urbana (Figura 5.6) e constitui parte da zona de expansão urbana prevista no Plano Diretor (SÃO CARLOS, 2016b).



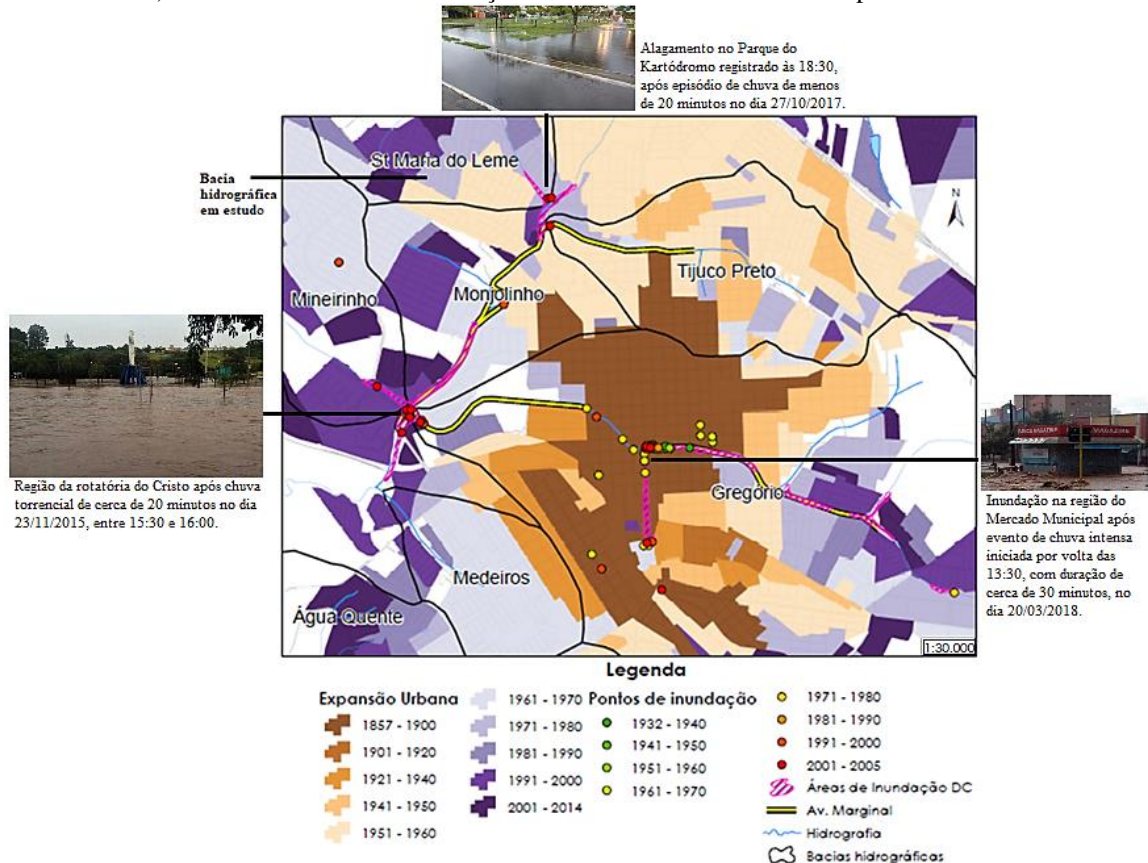
Figura 5.6 – Uso e ocupação na bacia Santa Maria do Leme (SML).



Fonte: próprio autor.

Diante de um contexto de múltiplas cicatrizes temporais dos cursos d’água na cidade, o que se verifica como resultado é a consequente convivência com as inundações. Faustino (2017) investigou esse histórico e o evidenciou em cartografia e números (Figuras 5.7 e 5.8).

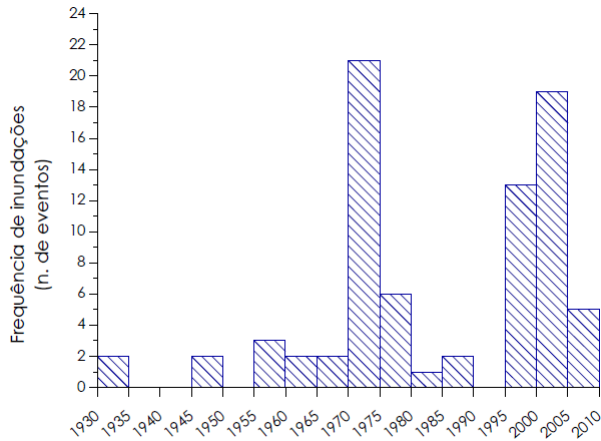
Figura 5.7 – Principais pontos de inundação verificados entre os anos 1970 a 2005, e episódios recentes (2015 a 2018) mostrando as áreas com situação de maior criticidade no município de São Carlos.



Fonte: modificado de Faustino (2017).



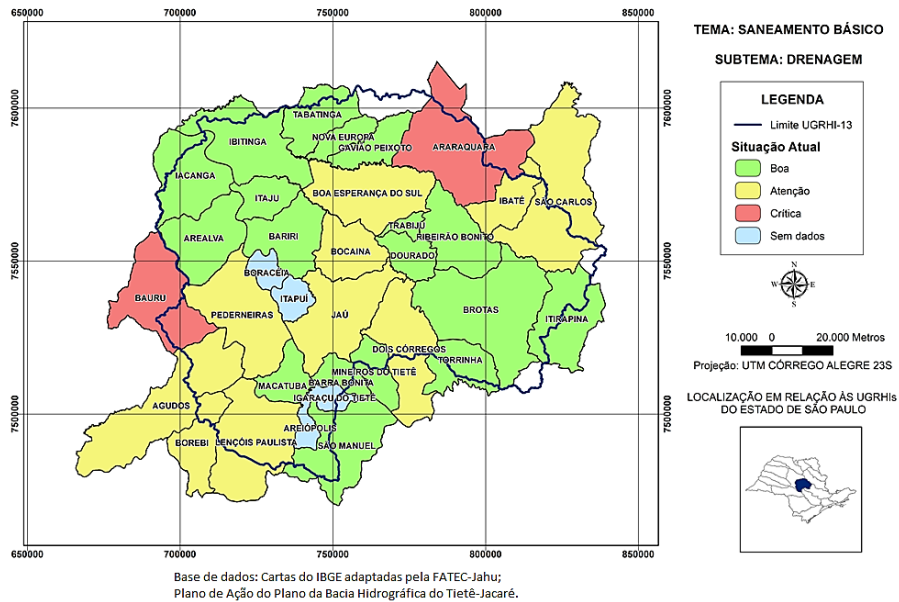
Figura 5.8 – Gráfico da frequência dos eventos de inundação registrados em São Carlos entre 1930 e 2010.



Fonte: Faustino (2017).

O Plano de Ação elaborado para o Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré em 2017 confirma essa preocupação: o município de São Carlos encontra-se em situação de *Atenção* quanto à *drenagem urbana* (Figura 5.9), que avaliou, em especial, a frequência de inundações.

Figura 5.9 – Situação em relação à drenagem urbana da UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), mostrando os 34 municípios da bacia, e São Carlos, a nordeste no mapa, encontrando-se em estado de “Atenção”.



Fonte: próprio autor.

Caso as ocupações sejam pautadas apenas nas técnicas tradicionais que tem perturbado o ciclo hidrológico, possivelmente os fenômenos de inundação tenderão a se intensificar cada vez mais no município. Nos últimos anos, constata-se que o Plano Diretor constituiu um instrumento para informar novos paradigmas para a drenagem urbana, mas não se mostrou

suficiente num contexto em que a expansão urbana se mostra aparentemente inevitável, fortemente orientada pelo mercado imobiliário. É nesse contexto que iniciativas da sociedade civil organizada e universidades, que buscam propor novas formas de configuração do espaço urbano ao iluminar potenciais locais que podem ser transformados sob um olhar fundamentado, sobretudo, pelo ciclo hidrológico e pelo manejo das águas pluviais, através de estratégias como a qualificação e estruturação de um sistema de espaços livres com importante desempenho ambiental, apresentam-se como alternativas para uma necessária mudança de registro para as cidades.

À luz dessas iniciativas, a seção 3.3 pretende apresentar uma experiência: o Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme (Projeto SML), articulado pela ONG Veredas, e coordenado pela Profa. Dra. Luciana Bongiovanni Martins Schenk (IAU/USP), em conjunto com a Profa. Dra. Renata Bovo Peres (DCAm/UFSCar), envolvendo estudantes de engenharia ambiental e urbana, e de arquitetura e urbanismo, além da participação da associação de moradores do entorno, o poder público e outros interessados.

## **5.2 Breve caracterização físico-ambiental da bacia Santa Maria do Leme**

A viabilidade e os possíveis impactos engendrados por ocupações na região da bacia Santa Maria do Leme têm sido pauta de discussões nos Conselhos Municipais de Desenvolvimento Urbano (COMDUSC) e de Defesa do Meio Ambiente (COMDEMA), especialmente por compor local de afloramento da formação Botucatu, recarga do Aquífero Guarani, prevendo-se lotes com dimensões de até 160 m<sup>2</sup>, no caso de Habitação de Interesse Social (HIS).

Na bacia, duas formações geológicas principais são encontradas: a formação Itaqueri (74%), predominando arenitos e, portanto, apresenta maior permeabilidade, e a formação Serra Geral (26%), a qual acompanha os fundos de vale e é constituída de materiais de origem magmática, notadamente de menor permeabilidade (FAUSTINO, 2017). Nesse quadro geológico, a formação Serra Geral atua como condutor hídrico para o Aquífero Guarani ao se localizar imediatamente acima da formação Botucatu. Em termos de materiais inconsolidados (camada de solo acima do material geológico não alterado), notam-se a presença de: material transportado arenoso III (90%) e Residual do Itaqueri (2%), ambos de textura arenosa com alto coeficiente de permeabilidade e taxa de infiltração, além de Residual do Serra Geral (8%), com textura argilosa.

A bacia possui área total de 11,18 km<sup>2</sup> e sua rede hidrográfica é composta pelo curso d'água principal, o córrego Santa Maria do Leme, com 4.710,5 metros de extensão, e seis



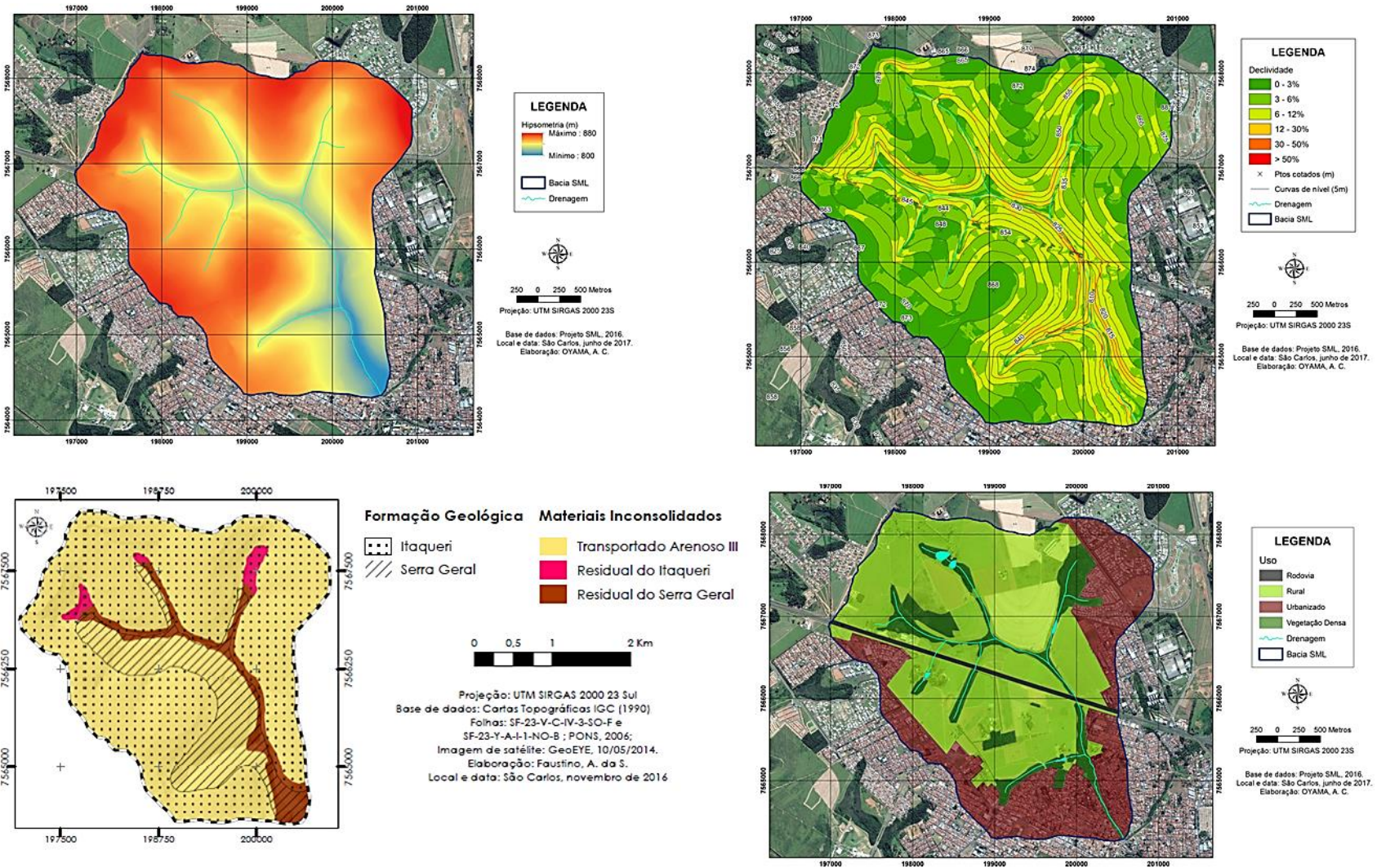
afluentes. Quanto ao uso e ocupação, a bacia apresenta cerca de 32% de área edificada; há predominância do uso rural (55%) e destaca-se a presença da rodovia Washington Luís (2%), cortando a bacia de leste a oeste. Ademais, as áreas com remanescentes vegetais e vegetação densa podem ser consideradas baixas, sobretudo ao avaliar os trechos coincidentes às APP, muitas das quais se encontrando em situação inadequada em termos de cobertura florestal.

Para avaliar diferentes cotas, foram produzidos um mapa hipsométrico, que mostrou uma variação de cerca de 80 metros (cota máxima de 880 metros e mínima de 800 metros em relação ao nível do mar), e uma carta de declividade, mostrando a predominância de uma classe de 0 a 6% (baixa declividade).

Esse conjunto de cartografias é apresentado na Figura 5.10 a seguir.



Figura 5.10 – Cartografias temáticas elaboradas para a bacia Santa Maria do Leme, em São Carlos, SP.



Fonte: próprio autor; mapa de geologia: Faustino (2017).



### 5.3. O Projeto de Urbanismo Santa Maria do Leme: uma terceira margem de propostas

*Corre um rio eterno por baixo da janela do meu silêncio. Vejo a outra margem sempre e não sei por que não sonho estar lá, outro e feliz* (PESSOA, 2016, p. 54).

Em virtude de seus atributos físicos e de sua localização no município, a área rural da bacia hidrográfica Santa Maria do Leme é considerada como *Zona de Expansão Urbana de Maior Densidade*, segundo o Plano Diretor (SÃO CARLOS, 2016a). Nessa perspectiva, o Plano aponta como grande tendência o aumento das áreas urbanizadas na região, que, em termos de resposta hidrológica, pode implicar intensificação do escoamento superficial, redução do tempo de concentração e maiores picos de vazão; ou, em uma palavra, implica a alteração do regime hidrológico na bacia. Reconhecendo a necessidade de reduzir os impactos na qualidade e quantidade das águas pluviais, diante de um cenário futuro de crescimento da área edificada, foi idealizado o Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme (Projeto SML), que buscou oferecer uma escolha distinta daquela historicamente adotada pelo município de São Carlos, sobretudo informando uma urbanização alternativa em relação àquela ocorrida na bacia do Gregório.

O Projeto SML, sob a perspectiva dos fluxos e processos naturais, especialmente do ciclo hidrológico, um dos principais partidos projetuais do trabalho, articulou propostas e diretrizes envolvendo técnicas de manejo das águas pluviais, muitas das quais com base conceitual oriunda da infraestrutura verde, e a qualificação de um sistema de espaços livres fundamental, o qual ampliou ao máximo as áreas permeáveis, que, somadas, representam cerca de 50% da área da bacia. Entre as estratégias previstas, destacam-se: (i) instalação de estruturas de reaproveitamento de águas pluviais nos telhados de edifícios, sobretudo os públicos, e utilização de poços de infiltração em algumas áreas reservadas nos lotes; (ii) valas drenantes integradas à paisagem e associadas às vias; (iii) áreas destinadas ao uso de outras técnicas, como bacias de retenção e detenção, e canteiros pluviais. Complementarmente, o projeto contempla APP de 30 metros para as margens dos rios e 50 metros para as nascentes, constituindo parte de uma rede de corredores ecológicos que dariam acesso a fragmentos florestais de outras bacias em escala municipal (TÃO, 2017).

As Figuras 5.11 e 5.12 lançam luz a essa proposta de urbanismo alternativo.

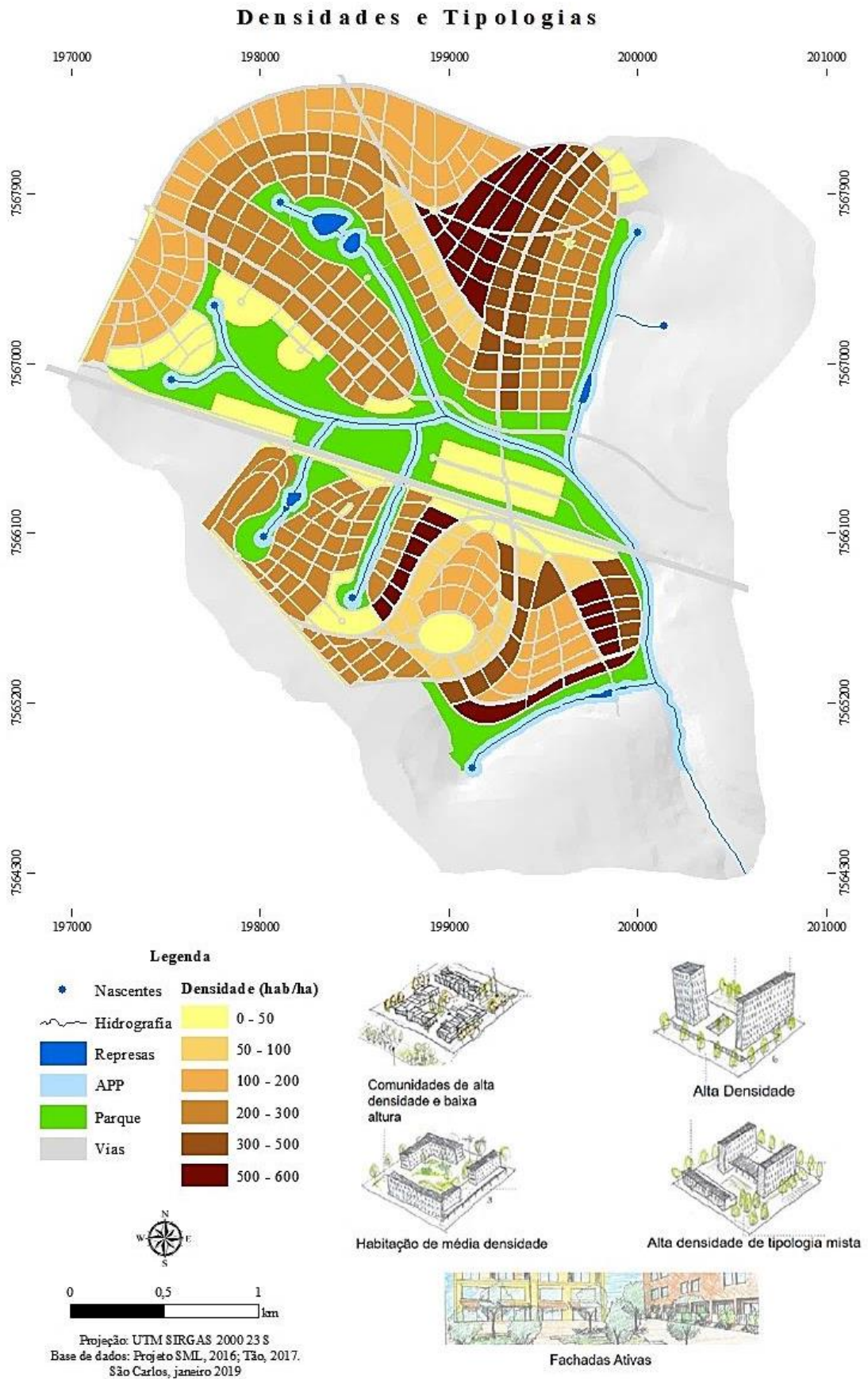
Figura 5.11 – Projeto SML e a qualificação dos espaços livres sob o olhar dos fluxos naturais.



Fonte: modificado de Tão (2017).



Figura 5.12 – Projeto SML e as densidades e tipologias previstas.



Fonte: modificado de Tão (2017).



#### 5.4. Desafios quanto à obtenção e limitação de informações observadas

O momento de busca por dados físicos e registros históricos sobre a bacia iluminou questões sensíveis em relação à confiabilidade de informações observadas, sobretudo dados de precipitação, no município de São Carlos.

A cidade apresenta uma rede de monitoramento pluviográfica constituída por oito postos, muitas dos quais implantados pela Escola de Engenharia de São Carlos, no âmbito dos projetos MAPLU (Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano) e HIDROECO (Hidrograma Ecológico e Modelagem Quali-Quantitativa de Bacias); porém, não há nenhum posto no interior da bacia estudada, como se observa na Figura 5.13.

Figura 5.13 – Localização dos pontos da rede de monitoramento pluviográfica e a estação fluviométrica operantes em São Carlos, SP.



Fonte: próprio autor.



Obteve-se acesso a três postos: dois localizados na área 2 da USP e outro na área 1 da universidade. A expectativa inicial era utilizar dados reais de localidades próximas, reconhecendo as limitações dos resultados, para eventualmente utilizar modelos computacionais de modelagem hidrológica e simular um evento de chuva intensa observada na bacia; e, também, dado que os métodos apresentam um grande teor de empirismo em sua base de construção, seria interessante comparar dados extraídos da realidade com os resultados obtidos a partir da curva IDF adotada.

Para tanto, foi realizada uma avaliação preliminar desses pluviógrafos, escolhendo-se como teste a chuva de 20 de março de 2018, com 69 (sessenta e nove) milímetros acumulados<sup>11</sup>, segundo registros oficiais, e início às 13h30min e término próximo das 14h10min (PREFEITURA..., 2018). O evento causou danos em toda a bacia do Gregório ao provocar inundações na marginal, Mercado Municipal e rotatória do Cristo, além de diversos pontos de alagamento próximos à rodoviária (efeitos que foram mostrados nas Figuras 5.3 e 5.7). Cabe destacar que naquele momento foi decretado estado de emergência e foram gastos cerca de R\$ 2 milhões na recuperação de áreas afetadas.

Os dados de precipitação dos três postos da rede de monitoramento chamaram atenção: constatou-se sub-medição, no caso da Área 1 da USP, e ausência de registros sobre esse evento na Área 2 da USP. Os resultados de cada leitura para esse episódio de chuva intensa constam na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Altura de chuva acumulada do episódio de precipitação ocorrido no dia 20/03/2018, entre 13h30min e 14h10min.

<b>Base de dados</b>	<b>Altura de chuva acumulada (mm)</b>
Registro oficial comunicado	69
USP Área 1	9,4
USP Área 2 - Entrada	Não registrou
USP Área 2 - Eng. Aeronáutica	Não registrou

Fonte: próprio autor.

Prosseguiu-se então com a investigação de outros registros históricos de precipitação (março de 2017 a julho de 2018) dessas estações e verificou-se que apenas chuvas com intensidade mais reduzida são na maioria dos casos registradas, porém, com tendência também à sub-medição. De fato, como se verificou na literatura (BRAGA, 2008; BRAGA; FERNANDES, 2006; CAVALCANTI; SILVA; REIS, 2015), trata-se de uma grande

<sup>11</sup> Em termos de intensidade, o valor representa 69 litros de água por metro quadrado.

limitação das estações automáticas do tipo *Tipping Bucket* (báscula), pelo próprio mecanismo de funcionamento, as quais são largamente utilizados em estações de monitoramento hidroambientais e meteorológicas, e adotadas no município de São Carlos.

Cavalcanti, Silva e Reis (2015) observaram essa fragilidade. A partir da rede de monitoramento pluviográfica de São Carlos e de informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), buscaram propor uma nova equação IDF para o município, fundamental nos cálculos relativos ao dimensionamento, segurança e operação de obras de macro e microdrenagem. A principal justificativa desse estudo foi a revisão das equações de chuva que a literatura fornece para a cidade: Barbassa (1991)<sup>12</sup>; Pfafstetter (1957); Righetto (1998) e SMOP (2014); a diversidade de valores de intensidades de chuva obtidos por essas diferentes curvas seria um indicativo da necessidade de atualização e proposição de uma nova equação.

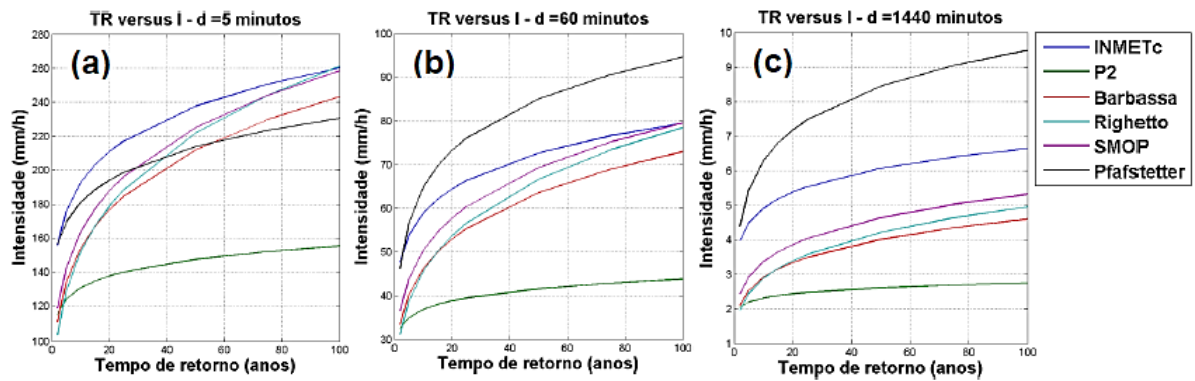
A limitação desses sensores de precipitação do tipo basculante revelou erros substanciais de medida. Os registros de todos os postos foram considerados inconsistentes, sendo que as estações localizadas próximas à Eletrolux e à Área 2 da USP (Eng. Aeronáutica) foram as mais problemáticas e foram descartadas nas análises seguintes da pesquisa. O trabalho usou a estação da entrada da Área 2 da USP, nomeado de P2, por melhor aderir à reta representativa da tendência de dados adotada. Uma equação foi gerada a partir dos parâmetros ajustados referentes aos dados desse posto de monitoramento e foi comparada com as demais equações fornecidas pela literatura (Figura 5.14). A equação ajustada para a estação da Área 2 da USP produziu valores de intensidade sempre menores (CAVALCANTI; SILVA; REIS, 2015), apontando que há perdas consideráveis de lâminas de precipitação, especialmente, como foi constatado pela avaliação preliminar apresentada na Tabela 5.1, durante eventos mais intensos.

---

<sup>12</sup> Cabe destacar que neste trabalho a IDF que será utilizada para as simulações referentes à bacia Santa Maria do Leme é a de Barbassa (1991), que lançou mão de dados pluviográficos de 27 anos, entre 1950 e 1988 para ajustar a curva.



Figura 5.14 – Estudo comparativo entre equações IDF da cidade de São Carlos, com P2 representando a equação obtida a partir do posto próximo à entrada da Área 2 da USP. A comparação é realizada por curvas tempo de retorno (TR) versus intensidade (de 9mm/h) para durações de chuva de (a) 5 minutos; (b) 60 minutos; (c) 1440 minutos.



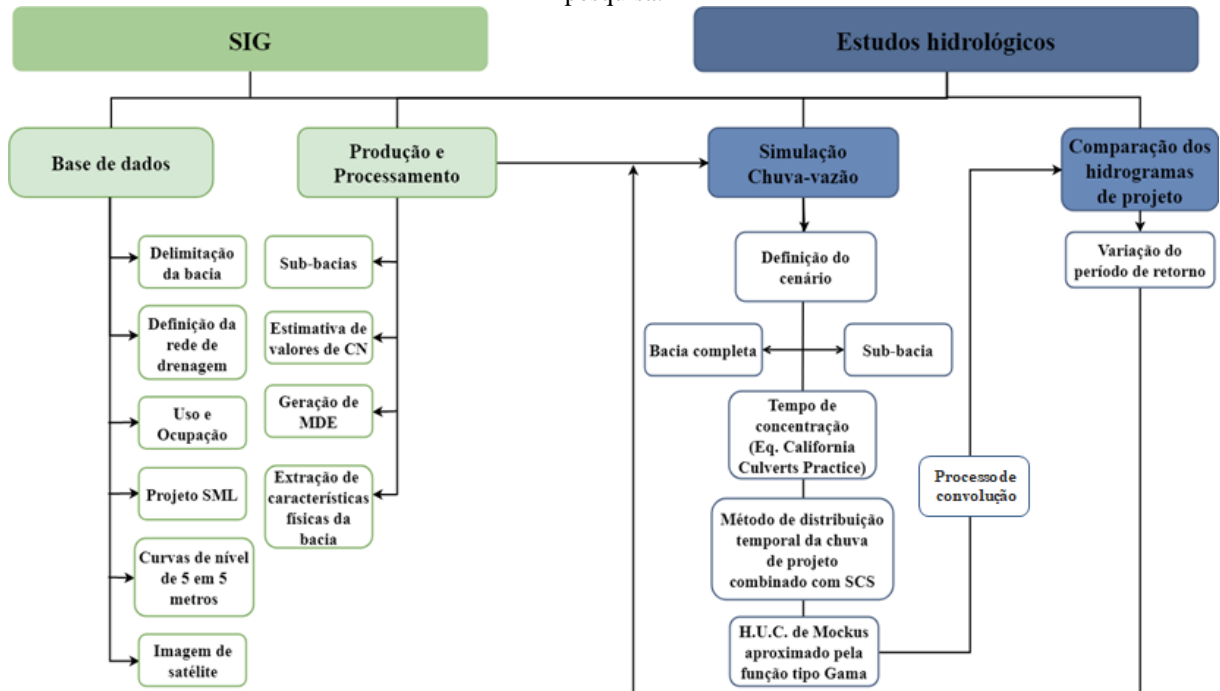
Fonte: Cavalcanti, Silva e Reis (2015).

Fica evidente, assim, a necessidade de revisão dessas instalações, sobretudo porque os erros significativos observados podem implicar impactos em estudos hidrometeorológicos já muito difundidos, sobretudo pela comunidade científica local.

## 6. Metodologia

De modo a orientar o detalhamento da metodologia, a Figura 6.1 apresenta o diagrama síntese do percurso de obtenção dos resultados expostos no próximo capítulo.

Figura 6.1 – Diagrama que sintetiza o processo desenvolvido para obtenção dos resultados quantitativos da pesquisa.



Fonte: próprio autor.

No primeiro momento, lançando mão do software ArcGIS 10.3, desenvolveram-se cartografias de uso e ocupação, que foram apresentadas nas Figuras 5.6 (cenário atual obtido pela vetorização de uma imagem de satélite de 2010) e 5.11 (urbanização proposta pelo Projeto SML). A partir das características do solo, foram estimados valores de curva de deflúvio para os cenários a serem investigados, isto é, **(i)** Cenário atual, **(ii)** Cenário do Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme, **(iii)** Cenário de urbanização completa da bacia, com CN médio de 90.

Ainda nesta etapa, foram delimitadas as sub-bacias do território e definiram-se os recortes objetos de aplicação das simulações hidrológicas. Ademais, extraíram-se elementos físicos de entrada para cada recorte e para a bacia completa, como *área*, *comprimento do talvegue (axial L)*, *cota topográfica da seção de controle considerada* e *cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle*, a partir da geração do modelo digital de elevação



(MDE), que, por sua vez, foi base para confeccionar cartografias de hipsometria e declividade.

A partir desses dados físicos de entrada, calcula-se o tempo de concentração através da equação do *California Culverts Practice* (equação 1) (recomendada pelo DAEE e pelo Manual de Diretrizes de Drenagem do município de São Carlos):

$$T_c = 57 \left[ \frac{L^3}{H} \right]^{0,385}$$

$T_c$  – tempo de concentração (min.);

$L$  – comprimento do talvegue do curso d'água (km);

$H$  – desnível altimétrico entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m).

Em seguida, as variáveis para o H.U.C. de Mockus aproximados pela função tipo Gama são calculadas, considerando uma precipitação unitária de 1 centímetro. Em outros termos, encontram-se: a duração unitária da chuva efetiva ( $D$  – horas), em que o SCS recomenda que seja  $D \leq t_c/5$ ; o tempo de pico do hidrograma unitário ( $t_p$  – horas); o tempo de base do hidrograma unitário ( $t_b$  – horas); e a vazão de pico ( $q_p$  – m<sup>3</sup>/s/cm). São variáveis apresentadas na **seção 4.1.9.1**, especialmente pela equação 12, isto é,

$$q_p = \frac{2,08 P A}{D/2 + 0,6 t_c} \text{ (m}^3\text{/s/cm), com } A \text{ (km}^2\text{), } t_c \text{ (h), } D \text{ (h) e } P = 1 \text{ cm}$$

No primeiro eixo de resultados, comparam-se os métodos de distribuição temporal de chuva de projeto (detalhadas na **seção 4.1.8**, paralelamente com a **seção 4.1.7**, referente à determinação da chuva efetiva pelo método SCS) para o cenário atual e adota-se a bacia total para o cálculo. Os modelos avaliados são:

- (a) **Blocos Alternados** combinado com SCS / H.U.C. de **Mockus**;
- (b) **USBR** combinado com SCS / H.U.C. de **Mockus**;
- (c) **USBR modificado** combinado com SCS / H.U.C. de **Mockus**;
- (d) **Huff 1º quartil** combinado com SCS / H.U.C. de **Mockus**.

O hidrograma unitário curvilíneo de Mockus é aproximado pela expressão matemática do tipo de distribuição Gama, que é dada pela equação 14:

$$Q(T) = \frac{q(t)}{q_p} = T^n e^{-nT} \text{ , com } T = t/t_p \text{ e fator de aspecto } n = 3,53.$$

Para a chuva de projeto, os períodos de retorno ( $T_r$ ) foram variados de 25, 50 e 100 anos. A curva IDF utilizada para as simulações referentes à bacia Santa Maria do Leme foi a

de Barbassa (1991) (equação 7), recomendada pelo Manual de Diretrizes de Drenagem do município de São Carlos (SÃO CARLOS, 2010), isto é:

$$I(\text{mm/h}) = \frac{1519 \cdot \text{Tr}^{0.236}}{(t + 16)^{0.935}} \text{ com } t(\text{min})$$

O memorial de cálculo da aplicação de cada método pode ser consultado no **Apêndice A** (Figuras A1 a A13).

O segundo eixo dos resultados refere-se à verificação da importância do processo de propagação de ondas de cheia. Pelo método de Huff 1º quartil, são comparados os resultados adotando-se a bacia completa e, no outro caso, utilizando-se a soma simples dos hidrogramas de projeto gerados para cada recorte, porém, sem utilizar os princípios de propagação de cheia. Todo o memorial de cálculo pode ser conferido no Apêndice A (Figuras A14 a A18).

Finalmente, no terceiro eixo, são gerados os hidrogramas de projeto para cada cenário, considerando uma sub-bacia representativa para análise mais adequada e, em seguida, a bacia completa, para avaliar de forma geral a influência de uma urbanização diferenciada no território. De maneira análoga ao primeiro eixo de resultados, os períodos de retorno foram de 25, 50 e 100 anos. As Figuras A19 a A34 expõem o processo de cálculo desta etapa.



## 7. Resultados e desdobramentos

### 7.1. Estudo comparativo entre métodos hidrológicos

Dado que a bacia possui uma área expressiva, mais de 11 km<sup>2</sup>, considerada, portanto, uma bacia média, idealmente é importante discretizá-la em sub-bacias, suficientemente pequenas, para uma adequada distribuição espacial e temporal da precipitação projetada. Além disso, deve-se lançar mão de princípios de propagação de cheias (por exemplo, aqueles propostos pelo Método de Muskingum)<sup>13</sup>, para produzir o hidrograma final da bacia.

Tendo em vista a finalidade desta análise, o estudo cotejando diferentes métodos será conduzido de modo mais simplificado, porém sem abrir mão do rigor técnico, adotando a bacia completa (sem discretização em sub-bacias) para essa aplicação e sem considerar os complexos processos de propagação de cheias.

Os métodos a serem analisados são:

(a) **Blocos Alternados** combinado com *SCS* / H.U.C. de **Mockus** aproximado pela *função tipo Gama*;

(b) **USBR** combinado com *SCS* / H.U.C. de **Mockus** aproximado pela *função tipo Gama*;

(c) **USBR modificado** combinado com *SCS* / H.U.C. de **Mockus** aproximado pela *função tipo Gama*;

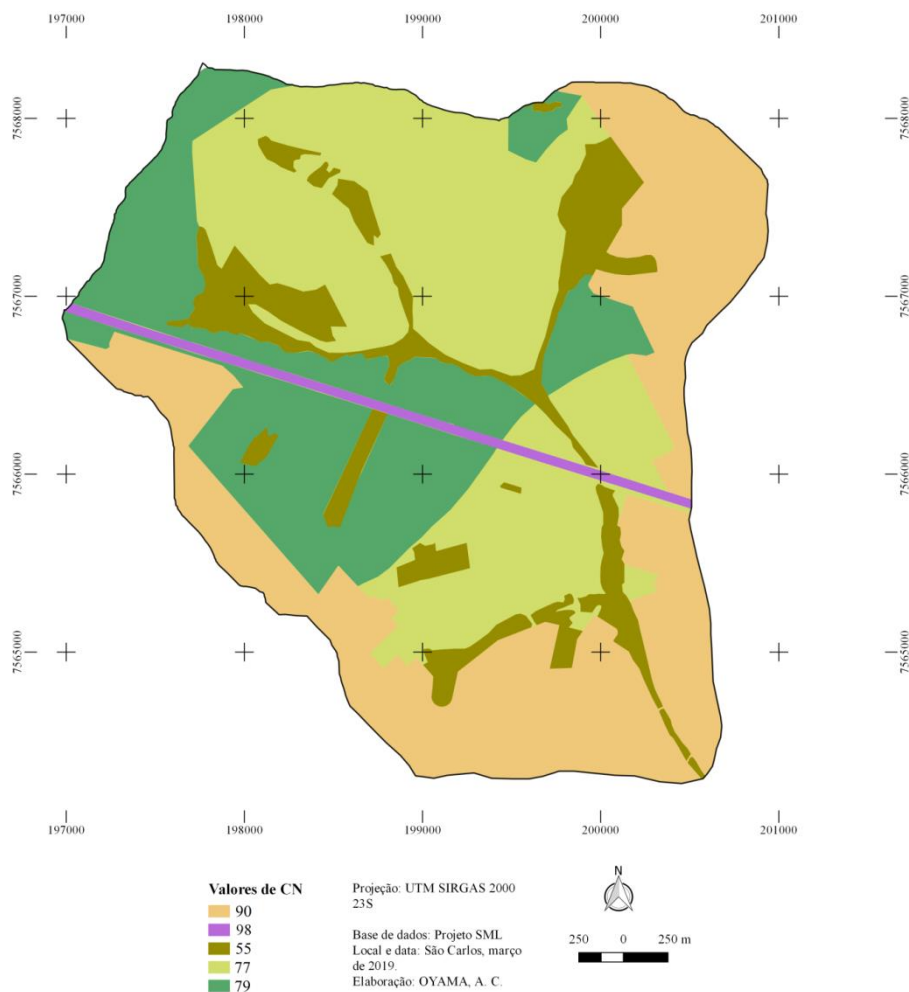
(d) **Huff 1º quartil** combinado com *SCS* / H.U.C. de **Mockus** aproximado pela *função tipo Gama*.

Para a chuva de projeto, a metodologia deste trabalho adotou períodos de retorno (Tr) de 25, 50 e 100 anos, equivalendo a volumes totais precipitados iguais a 67,43 mm, 79,42 mm e 93,53 mm, respectivamente. A Figura 7.1 e a Tabela 7.1 apresentam para o cenário atual da bacia SML o valor de CN, um dos parâmetros mais sensíveis e fundamentais na aplicação dos estudos hidrológicos, representando as alterações no uso do solo e, portanto, a geração de escoamento superficial na bacia.

<sup>13</sup> Princípios e métodos que não serão abordados nesta pesquisa em virtude de sua complexidade.



Figura 7.1 – Cartografia mostrando a espacialização dos valores das curvas de deflúvio CN na bacia SML, considerando o cenário atual.



Fonte: próprio autor.

Tabela 7.1 – Valores de CN (com grupo hidrológico de solo B, condição de umidade II) para cada tipo de uso e ocupação na bacia SML. O “CN médio” corresponde à média ponderada entre as diferentes áreas e os respectivos valores de CN.

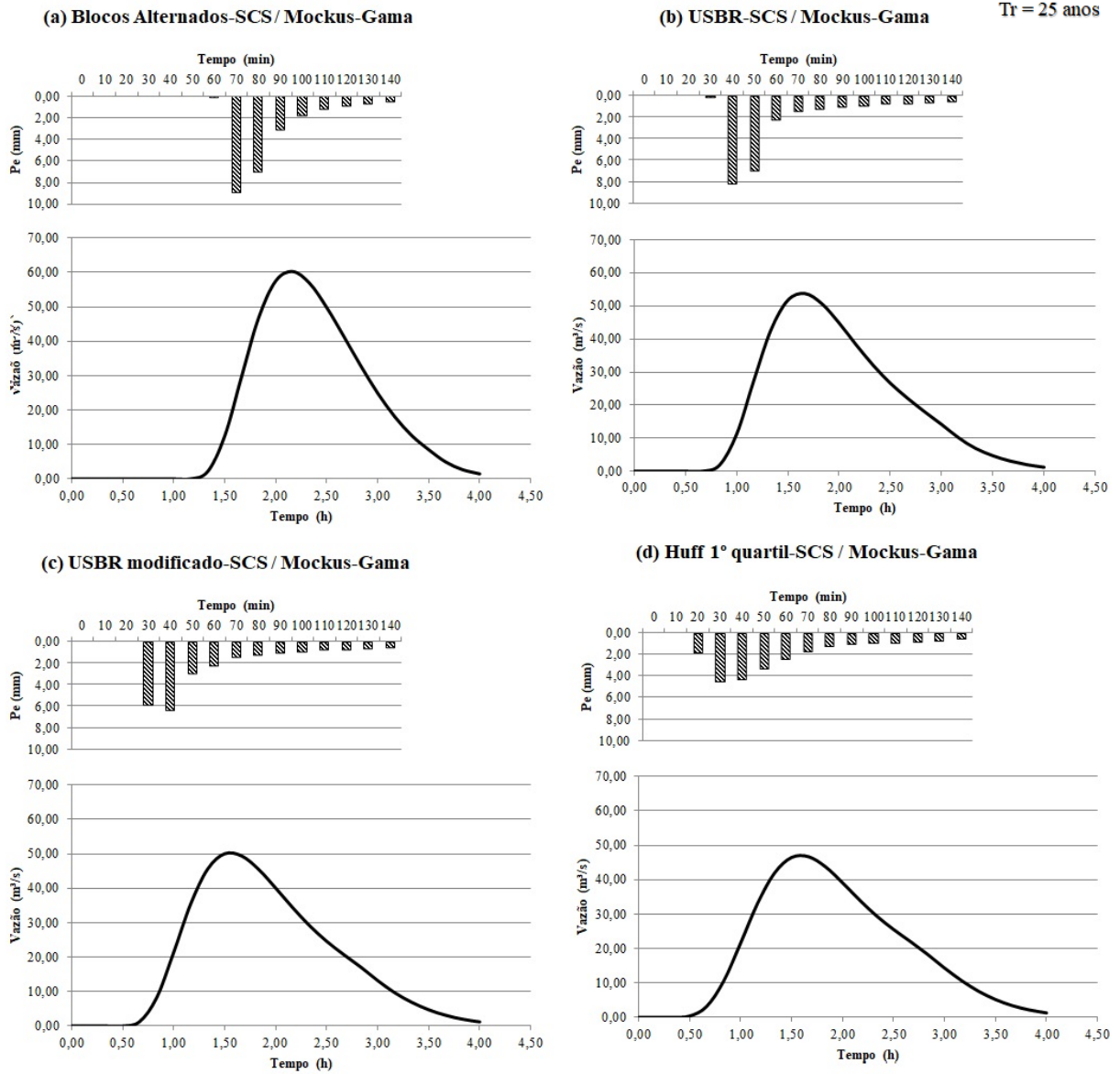
Uso e ocupação	Equivalente na tabela de valores CN*	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Urbanizado	Característica urbana média do entorno**	90	3.543.336
Rodovia	Ruas e estradas pavimentadas e com sistema de drenagem	98	191.700
Vegetação densa	Floresta com boas condições e protegida de exploração	55	1.247.988
Rural (plantação regular)	Plantação em fileira ao longo de curva de nível (condições boas)	77	3.721.400
Rural (pastagem com solo exposto)	Pastagens ou terrenos em más condições	79	2.479.304
		<b>CN médio</b>	<b>79,5</b>

(\*). Trata-se da Figura 4.4. (\*\*). Caracterização segundo Faustino (2017).

Fonte: próprio autor.

Os resultados para cada método são apresentados nas Figuras 7.2 a 7.6.

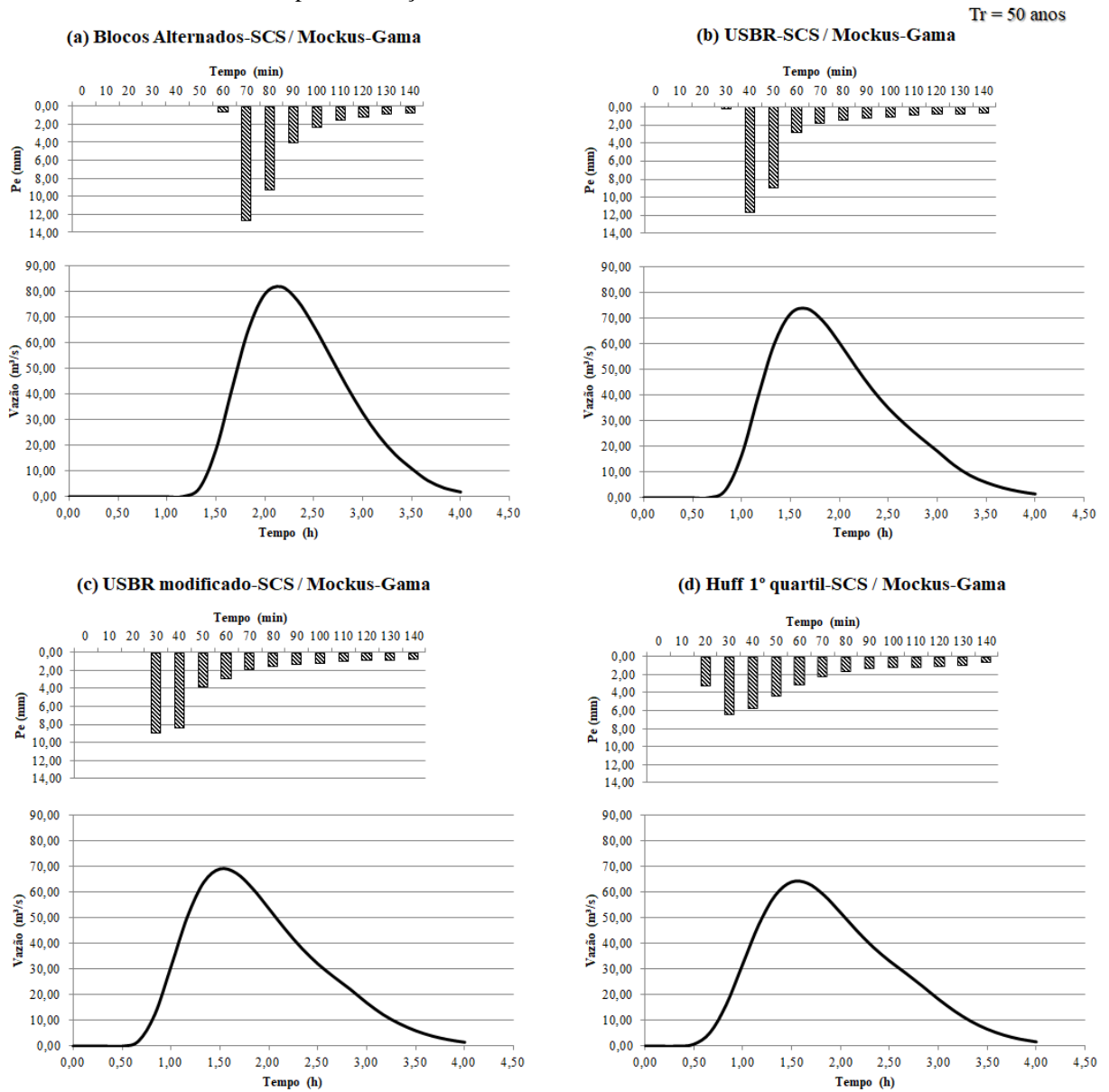
Figura 7.2 – Hietogramas de projeto de chuva efetiva e hidrogramas resultantes da aplicação de cada método para a situação atual da bacia SML, com  $Tr=25$  anos.



Fonte: próprio autor.

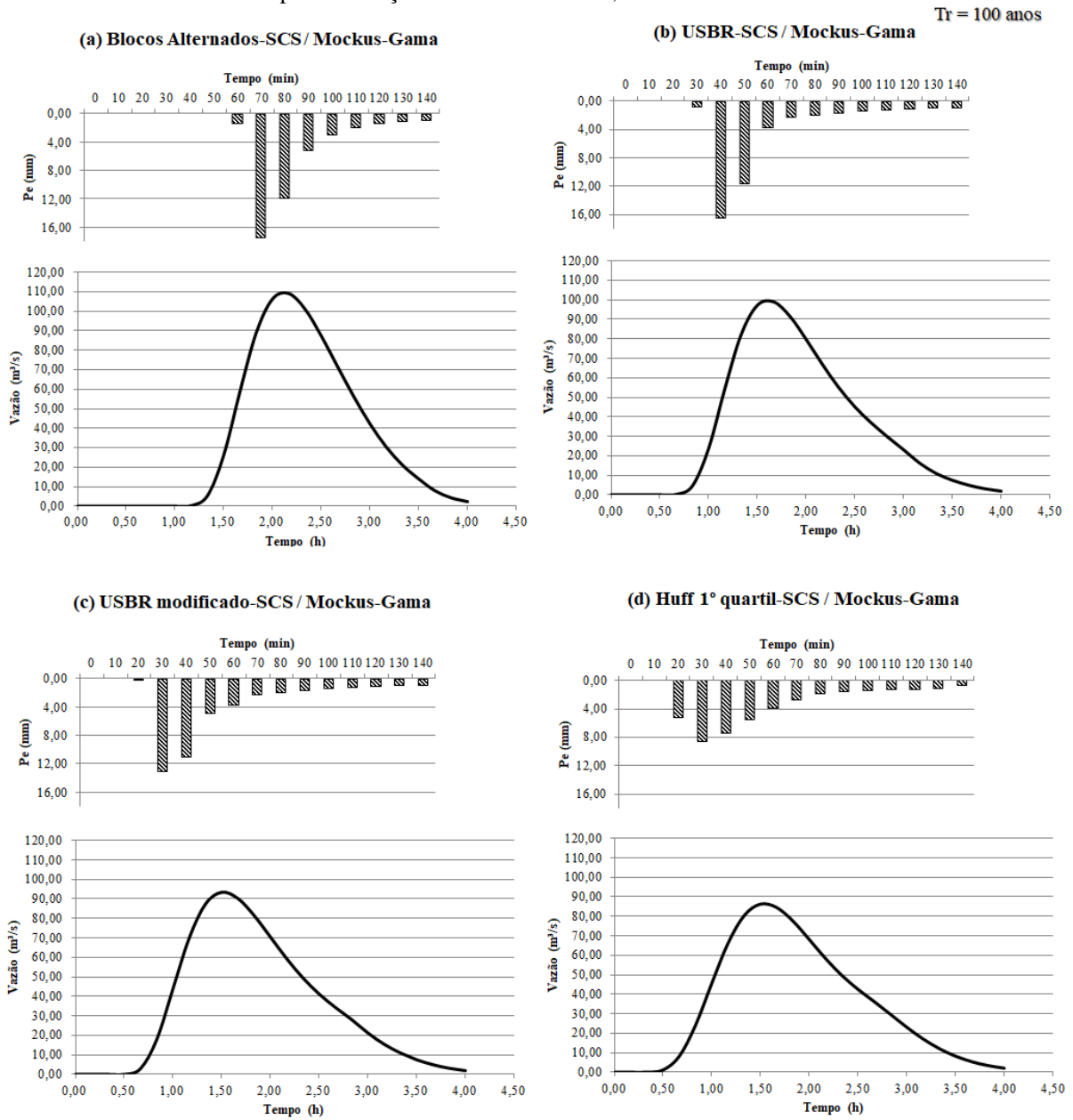


Figura 7.3 – Hietogramas de projeto de chuva efetiva e hidrogramas resultantes da aplicação de cada método para a situação atual da bacia SML, com  $Tr=50$  anos.



Fonte: próprio autor.

Figura 7.4 – Hietogramas de projeto de chuva efetiva e hidrogramas resultantes da aplicação de cada método para a situação atual da bacia SML, com  $Tr=100$  anos.

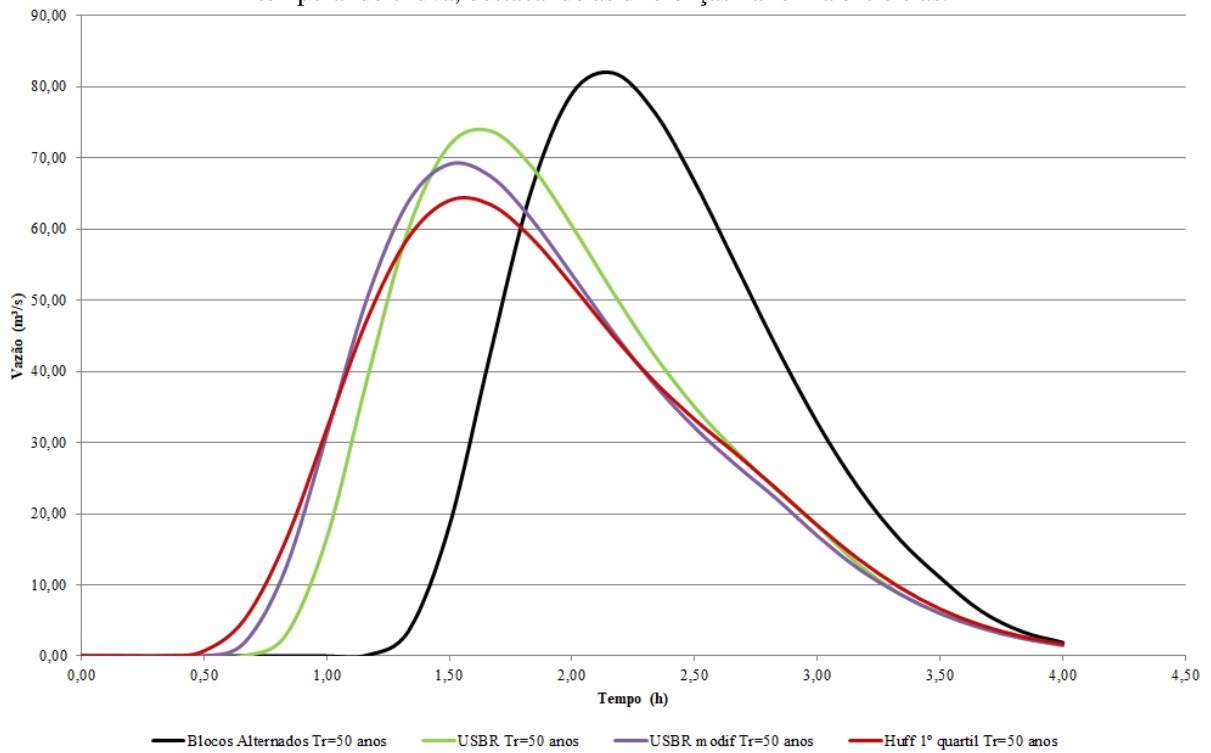


Fonte: próprio autor.



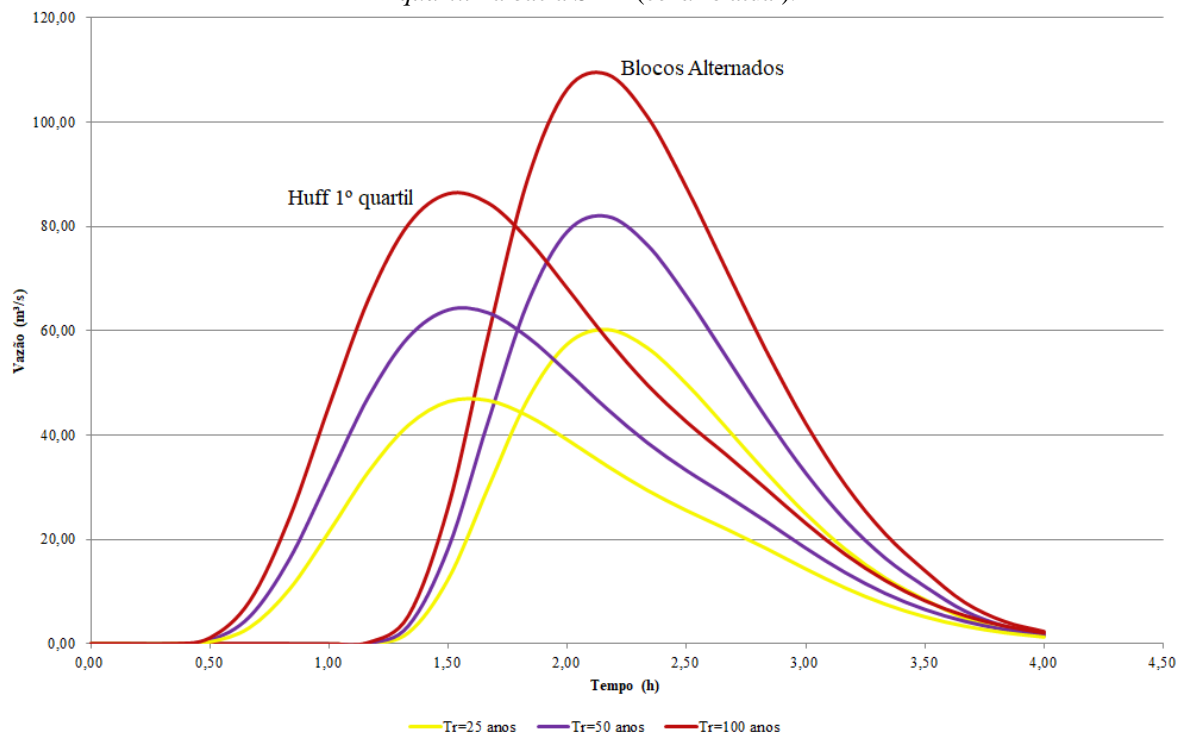


Figura 7.5 – Sobreposição de hidrogramas de projeto ( $Tr=50$  anos) referentes a cada método de distribuição temporal de chuva, destacando as diferenças na forma entre elas.



Fonte: próprio autor.

Figura 7.6 – Comparação de hidrogramas de projeto gerados a partir do método *Blocos alternados* e *Huff 1º quartil* na bacia SML (cenário atual).



Fonte: próprio autor.

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da cidade de São Paulo (2012) reporta que, em projetos envolvendo bacias urbanas, na maioria das vezes tem sido adotadas chuvas com duração de 2 ou 3 horas e distribuição temporal seguindo o método dos blocos alternados ou de Huff 1º quartil. Apenas em bacias com área superior a 100 km<sup>2</sup> são mais comumente adotadas chuvas de projeto de 6 horas e distribuição conforme blocos alternados ou Huff 2º quartil.

Conforme esse mesmo manual, a escolha do método de distribuição temporal da chuva de projeto e a fixação da duração da mesma estão sujeitas a uma variedade de possibilidades de orientações. Os resultados de vazões máximas e volumes de cheias são diretamente afetados por essas decisões. De forma complementar, Canholi (2005) alerta que na desagregação das precipitações para a construção de hietogramas reside o grande dilema do hidrólogo.

De fato, como se observa nas Figuras 7.2 a 7.4, há uma evidente diferença na forma do hietograma para cada modelo de distribuição temporal de chuva analisado, e que se manifesta também em relação aos hidrogramas de projeto. Dessa confirmação, cabe realizar algumas considerações que expressam essas diferenças, assim como as limitações, para cada modelo.

O método dos blocos alternados, como escreve Porto (2018), é aquele que mais carece de sentido físico. Isso é ratificado quando se observa que, sendo o maior bloco deslocado para o centro da tormenta, no caso, até 70 minutos, a precipitação efetiva é praticamente nula antes desse período, um fato incompatível considerando um número deflúvio CN de 79,5. Ademais, foi o método que produziu o maior pico de chuva efetiva dentre todos os analisados: 5,41 mm (Tr=25 anos), 12,68 mm (Tr=50 anos) e 17,47 mm (Tr=100 anos). Trata-se de um método que *potencializa* a vazão de pico e *retarda* a sua ocorrência, produzindo hidrogramas em que, durante uma parte expressiva do tempo após o início da chuva, a vazão é praticamente nula, não refletindo a resposta física esperada da bacia.

A Figura 7.5 é emblemática nesse sentido. No hidrograma gerado pelo hietograma de chuva efetiva via blocos alternados, verifica-se uma potencialização da vazão máxima (81,93 m<sup>3</sup>/s), assim como do tempo de pico, além da resposta da bacia (o crescimento do escoamento superficial) ocorrer a 1,17 hora (70 minutos) após o início do evento chuvoso, o que não é físico em uma bacia com CN próximo a 79,5.

Nessa mesma imagem, é possível constatar que o hidrograma de projeto obtido pelo método USBR é pouco mais deslocado para a direita em relação ao método USBR modificado, em virtude da distribuição dos blocos de tormentas, condição que reflete no pico



de vazão, brevemente maior no primeiro (USBR), mas muito menor que o verificado pelo modelo de blocos alternados.

De forma geral, nos três casos analisados em que se variou o período de retorno, observa-se uma semelhança entre os hidrogramas produzidos pelos métodos USBR, USBR modificado e Huff 1º quartil, com tempos de pico próximos, entre 90 e 100 minutos, que se aproximam do momento em que começa a resposta da bacia pelo método dos blocos alternados. As vazões máximas são muito próximas nos dois primeiros casos, com Huff 1º quartil apresentando o menor valor – para  $Tr=50$  anos, as vazões máximas foram  $73,79 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $69,12 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $64,01 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente –, além do tempo de “reação” da bacia ficar entre 0,50 hora e 0,67 hora.

O método de Huff 1º quartil, a despeito de produzir um valor máximo da precipitação efetiva menor que os métodos do USBR, antecipa um valor precipitação efetiva logo em 20 minutos de duração em todos os hidrogramas gerados, produzindo uma certa compensação na forma do hidrograma final. Em todos os casos, os menores picos de vazão excedente ocorrem para chuvas que se comportam de acordo com a distribuição temporal de Huff 1º quartil.

Dado que o maior impacto hidrológico, isto é, as maiores vazões máximas são verificadas no modelo dos blocos alternados, cabe destacar a diferença percentual, expressa na Tabela 7.2, entre os resultados deste método com o de Huff 1º quartil. O termo “variação”, na tabela, corresponde à diferença de aumento relativo entre os dois modelos, ou seja:

$$\text{Variação} = (Q_p \text{ blocos alternados} - Q_p \text{ Huff 1º quartil}) / Q_p \text{ blocos alternados}$$

Tabela 7.2 – Comparação entre as vazões máximas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) dos hidrogramas para o cenário atual da bacia SML.

Blocos Alternados			Huff 1º quartil			Variação		
Período de retorno (anos)			Período de retorno (anos)			Período de retorno (anos)		
25	50	100	25	50	100	25	50	100
<b>60,23</b>	<b>81,93</b>	<b>109,16</b>	<b>46,67</b>	<b>64,01</b>	<b>86,26</b>	22,53%	21,87%	20,98%

Fonte: próprio autor.

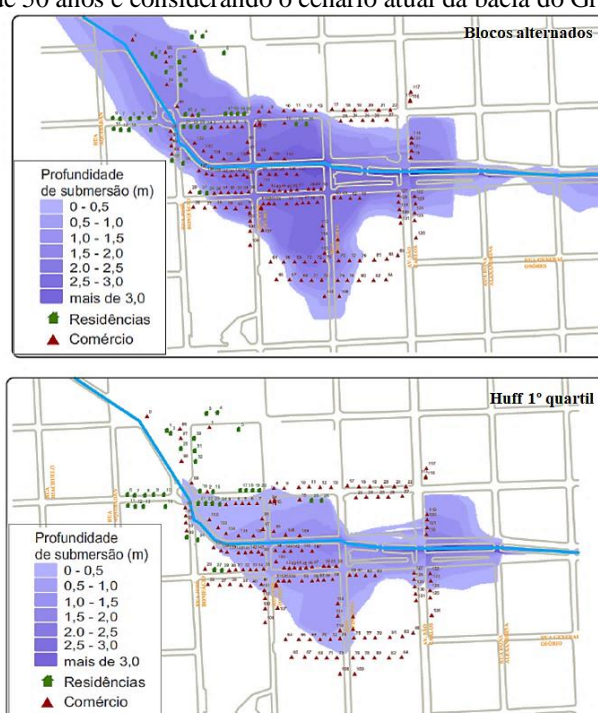
Chama bastante atenção a vazão máxima obtida pelo modelo de blocos alternados para  $Tr=50$  anos, isto é,  **$81,93 \text{ m}^3/\text{s}$** , um valor próximo daquele obtido para  $Tr=100$  anos utilizando Huff 1º quartil ( **$86,26 \text{ m}^3/\text{s}$** ).

Pode-se ponderar, nessa medida, que o método dos blocos alternados potencializa também gastos referentes a projetos de drenagem em comparação aos outros métodos investigados. A ampla utilização desse modelo pode ser justificada, entre outros motivos, pelo favorecimento da segurança ao potencializar os picos de vazão.

Numa direção que corrobora com essa análise, Abreu (2013), a partir desses dois métodos e utilizando informações do trabalho de Decina (2012), simulou manchas de inundação na região mais densamente ocupada na bacia do Gregório, na cidade de São Carlos, correspondendo à porção próxima ao mercado municipal, avaliando as respostas desses dois métodos variando-se valores de curvas de deflúvio CN e períodos de retorno. Tal simulação foi conduzida junto aos programas HEC-RAS<sup>14</sup> e ArcGIS.

A Figura 7.7 mostra a discrepância de área entre as manchas de inundação simuladas.

Figura 7.7 – Manchas de inundação geradas a partir dos métodos blocos alternados e Huff 1º quartil, adotando-se um período de retorno de 50 anos e considerando o cenário atual da bacia do Gregório (CN médio de 80).



Fonte: Abreu (2013).

A expectativa inicial desta monografia era também realizar simulações de manchas de inundação para a bacia Santa Maria do Leme. No entanto, a dificuldade de obtenção de dados fluviométricos, como batimetria<sup>15</sup>, impossibilitou o uso de programas para esse fim, como o HEC-RAS. Nas últimas fases deste trabalho, o autor teve acesso a um levantamento de algumas poucas seções do rio principal da bacia, porém, não contemplando as sub-bacias.

<sup>14</sup> Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*US Army Corps of Engineers*), o HEC-RAS realiza modelação unidimensional para uma rede de rios ou canais, podendo ser utilizada para simulações de escoamento permanente, escoamento não-permanente, transporte de sedimentos e análises de qualidade da água (DECINA, 2012).

<sup>15</sup> A batimetria é a medição da profundidade dos oceanos, lagos e rios, e é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos da mesma profundidade com equidistâncias verticais (curvas isobatimétricas), à semelhança das curvas de nível topográfico.



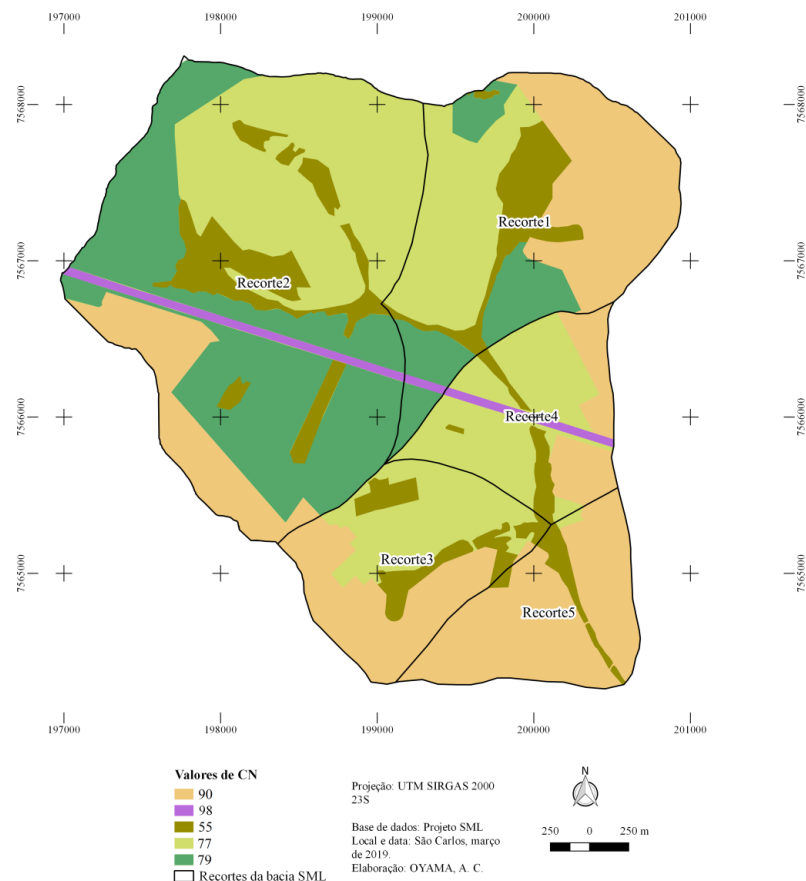
Cabe reforçar que, mesmo se a simulação fosse realizada, a validação dos resultados seria a grande questão a ser considerada, uma vez que não há registros de dados físicos sobre inundações passadas na região, isto é, informações como cotas ou manchas de inundação, além de chuvas correspondentes ao fenômeno.

Nas próximas seções, o estudo hidrológico da bacia Santa Maria do Leme será orientado pelo método de distribuição temporal de chuva Huff 1º quartil, uma vez que, como se observou, tende a apresentar um resultado, em geral, mais próximo do esperado em termos de “reação” da bacia, muito provavelmente pelo fato de possuir uma base estatística mais bem fundamentada em relação aos outros modelos analisados, que são essencialmente empíricos.

## 7.2. Verificação da importância da propagação de ondas de cheia: aplicação do método escolhido Huff 1º quartil para as sub-bacias

A bacia Santa Maria do Leme foi discretizada em recortes (Figura 7.8), orientadas pelo conceito de sub-bacias, pensando numa adequada distribuição espacial e temporal da precipitação projetada.

Figura 7.8 – Discretização em recortes, seguindo a distribuição de sub-bacias, da bacia Santa Maria do Leme.



Fonte: próprio autor.

Os valores de CN para cada região são apresentados na Tabela 7.3.

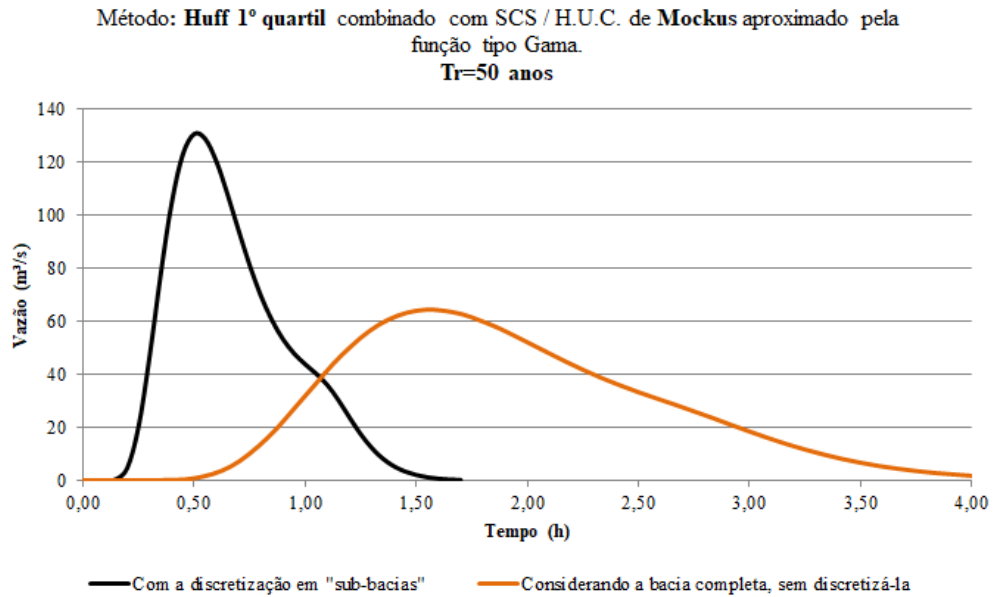
Tabela 7.3 – Valores de CN (com grupo hidrológico de solo B, condição de umidade II) para cada recorte da bacia SML em relação ao **uso e ocupação atual**. O “CN médio” corresponde ao valor final obtido para o recorte.

Uso e ocupação	Equivalente na tabela de valores CN	CN	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 1	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 2	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 3	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 4	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 5
Urbanizado	Característica urbana média do entorno	90	1.024.184	586.804	623.948	293.424	1.014.976
Rodovia	Ruas e estradas pavimentadas e com sistema de drenagem	98	14.512	117.768	0	59.420	0
Vegetação densa	Floresta com boas condições e protegida de exploração	55	329.852	536.604	210.360	88.816	82.356
Rural (plantação regular)	Plantação em fileira ao longo de curva de nível (condições boas)	77	693.689	1.706.952	558.972	751.092	10.696
Rural (pastagem)	Pastagens ou terrenos em más condições	79	498.403	1.980.900	0	0	0
		<b>CN médio</b>	<b>79,5</b>	<b>77,1</b>	<b>79,0</b>	<b>79,4</b>	<b>87,1</b>

Fonte: próprio autor.

O hidrograma final (Figura 7.9) resultante da soma simples dos hidrogramas de projeto dos cinco recortes, para  $Tr=50$  anos, sem considerar o processo de propagação de cheias, foi comparado com aquele obtido na seção anterior, isto é, que avaliou a bacia completa, sem discretização.

Figura 7.9 – Comparação entre os hidrogramas de projeto obtidos com e sem a discretização da bacia Santa Maria do Leme em “sub-bacias”, desconsiderando o processo de propagação de cheias.



Fonte: próprio autor.

A discrepância, tanto em termos de magnitude da vazão de pico (130,70 m<sup>3</sup>/s, para o primeiro caso, e 64,01 m<sup>3</sup>/s, para o segundo) quanto em relação ao começo do tempo de resposta da bacia (0,15 hora e 0,5 hora, respectivamente), é evidente. Cabe destacar, ainda, que esse resultado se deu mesmo adotando uma duração da chuva maior no segundo caso (60 min e 140 min, respectivamente). Verifica-se, assim, a importância do processo de propagação de cheias para simulações hidrológicas, uma vez que os hidrogramas precisam ser defasados no tempo, isto é, precisam ser devidamente compatibilizados antes se efetuar a soma. Trata-se de um processo com uma complexidade que não será estudada aqui. Ademais, não estão sendo considerados o efeito de amortecimento das cheias (por exemplo, a presença de reservatórios) e outras variáveis, como pontes e a rodovia que corta o curso d'água principal e um de seus tributários.

Por outro lado, a ausência da divisão em sub-bacias implica adotar apenas o rio principal como parâmetro de entrada, não considerando devidamente a contribuição de seus tributários. No entanto, como uma primeira análise, é uma ferramenta interessante para se estudar efeitos e impactos hidrológicos diversos.

Ilumina-se, portanto, uma questão: os estudos hidrológicos apresentam uma elevada incerteza, a qual necessita ser devidamente comunicada nos projetos. Eles não apresentam necessariamente o compromisso de representar as condições reais observadas e podem ser utilizados com o objetivo de simular potenciais condições limites e, para tanto, a *experiência* do profissional de Hidrologia é preciosa, dado que, como se verificou, há incertezas inscritas

em cada decisão e que implicam resultados diversos inclusive para uma mesma situação avaliada. Entre os elementos de decisão fundamentais, destacam-se o valor da curva de deflúvio CN, o modelo de distribuição temporal de chuva, o método de obtenção do tempo de concentração (que é uma das variáveis mais sensíveis, uma vez que informa o tempo de pico e, portanto, a vazão de pico), a duração da chuva, o método de propagação das cheias (quando necessário), entre outros.

### **7.3. Simulação de diferentes cenários de urbanização na bacia Santa Maria do Leme**

Nesta seção, avaliam-se três cenários utilizando hidrogramas de projeto produzidos a partir de Huff 1º quartil:

(i) Cenário atual;

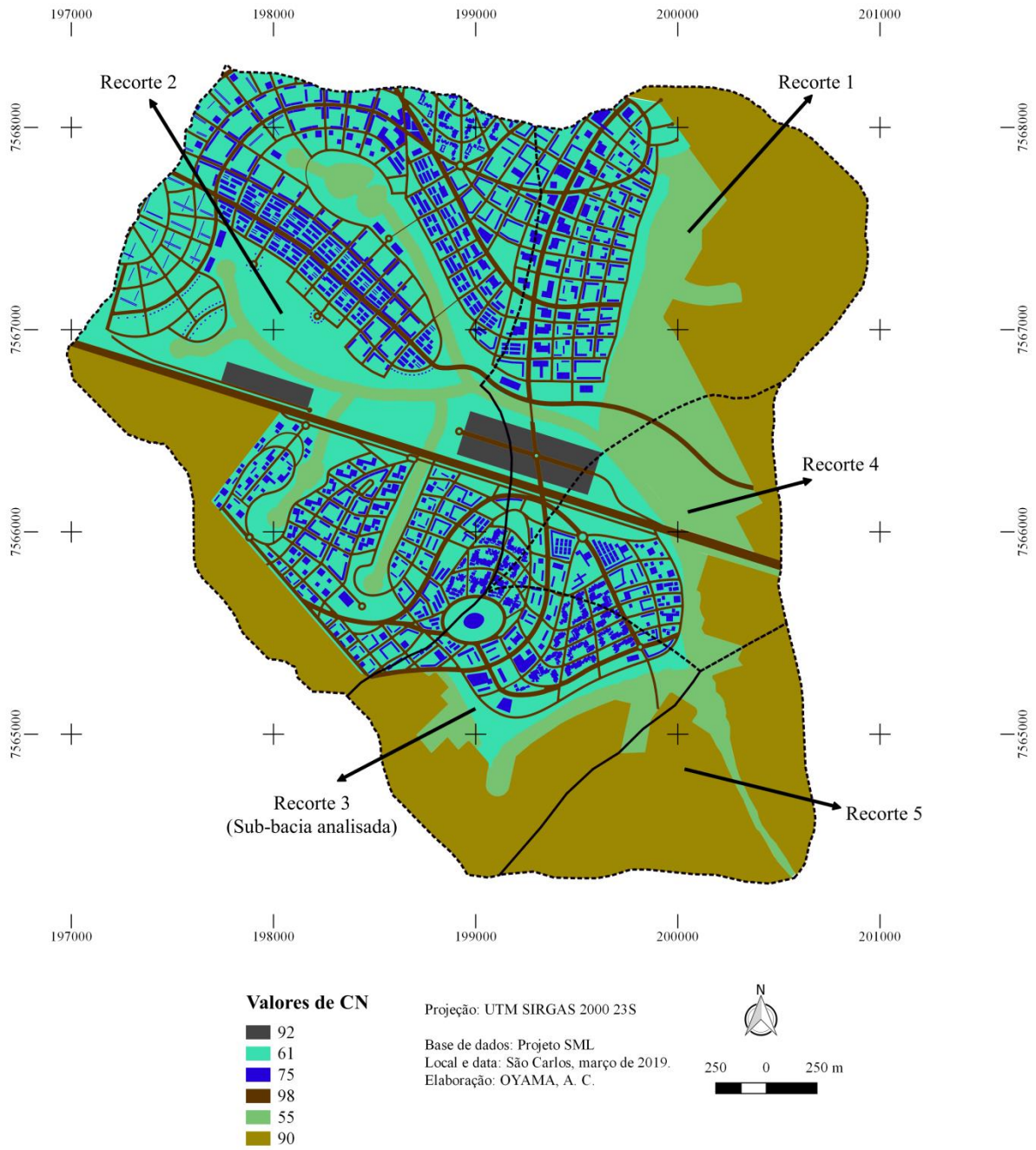
(ii) Cenário do Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a Bacia Santa Maria do Leme;

(iii) Cenário de urbanização completa da bacia, com um modelo de ocupação próximo ao da Bacia do Gregório, que apresenta faixas de valores de CN entre 85 e 95 em mais da metade de seu território (DECINA, 2012). Neste caso, para a bacia SML, adotou-se um valor médio de CN igual a 90 distribuído por toda a bacia.

Como sub-bacia representativa, escolheu-se o Recorte 3 para uma análise inicial. A Figura 7.10 mostra os valores de CN para o cenário do Projeto SML, assim como as características da sub-bacia analisada como uma espécie de transição que incorpora tanto o cenário atual (sobretudo em sua porção edificada) quanto o cenário proposto, e, complementarmente, a Tabela 7.4 apresenta os critérios e resultados de CN para cada recorte da bacia.



Figura 7.10 – Valores de CN adotados em relação ao cenário do Projeto de Urbanismo de Impacto Reduzido para a bacia Santa Maria do Leme.



Fonte: próprio autor.

Tabela 7.4 – Valores de CN (com grupo hidrológico de solo B, condição de umidade II) para cada recorte da bacia SML em relação ao **uso e ocupação do Projeto SML**. O “CN médio” corresponde ao valor final obtido para o recorte.

Uso e ocupação	Equivalente na tabela de valores de CN	Taxa de impermeabilização média (%)*	CN	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 1	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 2	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 3	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 4	Área (m <sup>2</sup> ) Recorte 5
Lotes para indústrias de baixo impacto ambiental	Área comercial com impermeabilização média de 85%	60	92	72.393	92.799	0	9.579	0
Infraestrutura de alto desempenho ambiental e espaços livres verdejados	Espaços abertos em boas condições, cobertura gramada >75%	5	61	590.339	2.479.583	339.740	265.081	0
Agrovilas; Borda norte; Alta densidade de tipologia mista; Alta densidade; Média densidade; Comunidades de alta densidade e baixa altura	Área residencial de 38 a 65% de impermeabilização	40 a 60	75	152.453	539.600	103.699	68.086	0
Vias	Ruas e estradas pavimentadas e com sistema de drenagem	-	98	265.257	848.562	138.348	148.966	0
APP, vegetação densa e áreas de reflorestamento	Floresta com boas condições e protegida de exploração	0	55	460.296	362.351	199.980	406.052	98.228
Urbano entorno (consolidado)	Característica urbana média do entorno	-	90	1.024.184	586.804	623.948	292.424	1.014.976
			<b>CN médio</b>	<b>77,0</b>	<b>72,5</b>	<b>77,7</b>	<b>71,8</b>	<b>86,9</b>

\* Base de dados: Projeto SML.

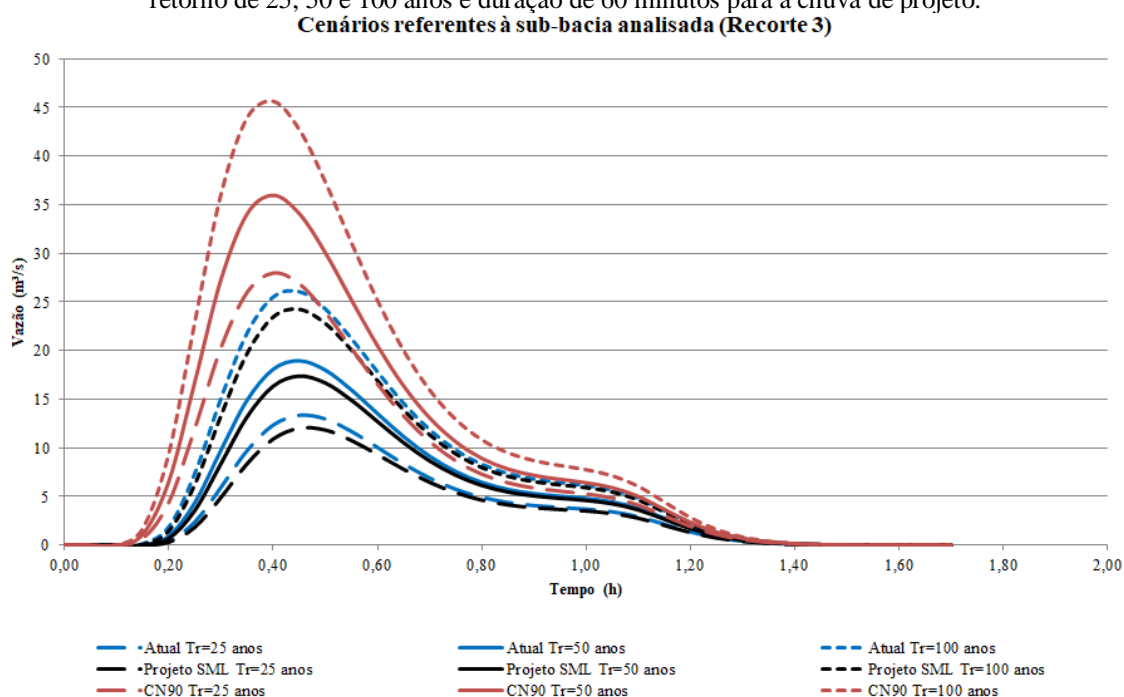
Fonte: próprio autor.

É interessante observar nessa tabela que, de forma geral, os valores médios de CN para os recortes da bacia diminuíram de forma singela em relação ao cenário atual analisado (Tabela 7.3). No recorte 3, por exemplo, é verificado um CN de **77,7**, para o **cenário de projeto**, ao passo que, no **cenário atual**, constata-se um CN igual a **79,0**.

Uma das razões para essa diferença é o uso e ocupação corrente, do segundo caso, predominantemente agropastoril, o qual fornece valores elevados de curva de deflúvio, especialmente pelo processo de compactação do solo. No cenário do Projeto SML, esses espaços passam a ser áreas de reflorestamento, áreas com APP recuperadas ou espaços livres verdejados, que apresentam valores de CN bastante inferiores. Ademais, em nível de lote, são previstas áreas permeáveis consideráveis, conforme a Tabela 7.4.

Assim, com base nessa análise, podem-se esperar hidrogramas referentes ao Projeto SML com picos inferiores aos do cenário atual. A Figura 7.11 e a Tabela 7.5 comparam e confirmam alguns destes resultados de investigação.

Figura 7.11 – Comparação entre hidrogramas de projeto obtidos, em relação à sub-bacia analisada, para cenários diversos: (i) Atual, em azul; (ii) Projeto SML, em preto; e (iii) CN=90, em vermelho. Adotaram-se períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos e duração de 60 minutos para a chuva de projeto.



Fonte: próprio autor.

Tabela 7.5 – Vazões máximas, alcançadas entre 0,40 hora e 0,45 hora, considerando a sub-bacia estudada.

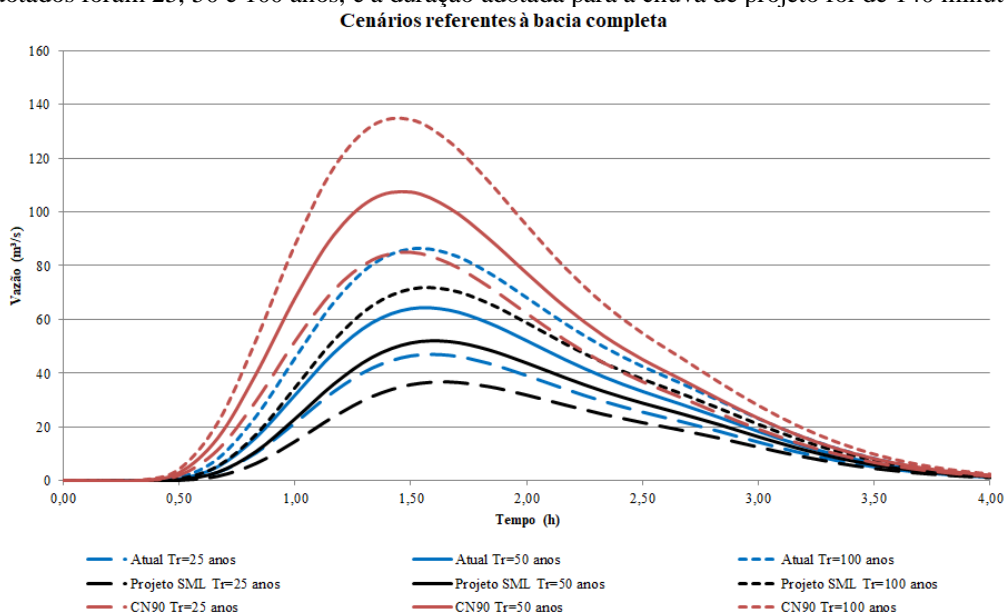
Cenário	Período de retorno (anos)	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)
<b>Atual</b> (CN médio: 79,0)	25	13,36
	50	18,95
	100	26,06
<b>Projeto SML</b> (CN médio: 77,7)	25	17,38
	50	12,03
	100	24,25
<b>Urbanização completa</b> (CN médio: 90,0)	25	27,97
	50	35,96
	100	45,64

Fonte: próprio autor.

Não apenas o **cenário do Projeto SML** para a sub-bacia resultou em **picos inferiores** aos demais cenários avaliados, como também, de maneira peculiar, permanece menor mesmo quando se compara sua *vazão máxima* (**24,25 m<sup>3</sup>/s**), obtida com uma chuva de projeto de **período de retorno de 100 anos**, e a *vazão máxima* (**27,97 m<sup>3</sup>/s**) do **cenário completamente urbanizado**, com **período de retorno de 25 anos**.

Realiza-se, a seguir, uma investigação análoga utilizando a bacia Santa Maria do Leme completa (sem discretizá-la), reconhecendo a limitação dos resultados. Estes foram dispostos na Figura 7.12 e Tabela 7.6.

Figura 7.11 – Comparação entre hidrogramas de projeto obtidos, em relação à bacia total, para diferentes cenários: (i) Atual, em azul; (ii) Projeto SML, em preto; e (iii) CN=90, em vermelho. Os períodos de retorno adotados foram 25, 50 e 100 anos, e a duração adotada para a chuva de projeto foi de 140 minutos.



Fonte: próprio autor.



Tabela 7.6 – Vazões máximas, alcançadas entre 1,50 hora e 1,67 hora, considerando a bacia completa.

Cenário	Período de retorno (anos)	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)
<b>Atual</b> (CN médio: 79,5)	25	46,67
	50	64,01
	100	86,26
<b>Projeto SML</b> (CN médio: 75,6)	25	36,74
	50	51,79
	100	71,32
<b>Urbanização completa</b> (CN médio: 90,0)	25	84,95
	50	107,38
	100	134,34

Fonte: próprio autor.

A diferença de resultados entre os cenários é ainda maior ao considerar a área total da bacia hidrográfica. Basta observar que a *vazão máxima*, para um período de retorno de 100 anos, do **cenário de urbanização completa** é de **134,34 m<sup>3</sup>/s**, *mais do que o dobro* daquela obtida para o **cenário de projeto** (**71,32 m<sup>3</sup>/s**).

De forma geral, nota-se que uma das disposições centrais das Diretrizes para Drenagem Urbana do município de São Carlos pode ser considerada atendida, isto é:

Em nenhuma hipótese a vazão da bacia após a implantação do empreendimento poderá suplantar a vazão “natural” do terreno, devendo a parcela excedente ser retida no próprio empreendimento, evitando-se desta maneira impacto no sistema implantado à jusante (SÃO CARLOS, 2010, p.1).

Diante desse percurso de avaliação realizado, cabe destacar que, hoje, as bacias urbanas dos córregos Monjolinho e Tijuco Preto são aquelas que mais contribuem para o histórico de inundações na região próxima ao Parque do Kartódromo (como verificado na Figura 5.7). Deve-se atentar, portanto, para o futuro da bacia Santa Maria do Leme, a qual poderá apresentar uma contribuição importante se a cidade insistir em lógicas que orientaram o modelo de urbanização corrente (como exemplo emblemático, menciona-se o território da bacia do Gregório) e se valer apenas das abordagens de drenagem urbana convencionais. É nesse sentido, como foi comprovado nessa análise, que o Projeto SML apresenta-se como uma margem alternativa e oportuna.

## 8. Considerações finais

Esta pesquisa constituiu-se numa oportunidade de revisar o estado do conhecimento sobre o campo da *técnica* referente à drenagem urbana em termos de abordagens pretéritas, aplicações presentes e perspectivas vindouras. Compondo um dos eixos norteadores, entende-se que o trabalho conseguiu tensionar certos paradigmas hegemônicos estabelecidos, a partir da investigação de um conflito histórico e ainda latente: a relação entre rio e cidade, manifestada de modo particularmente intenso na transformação dos processos naturais do ciclo da água.

Tal conflito tem estimulado o surgimento de diferentes propostas para o enfrentamento das questões derivadas, como aquelas referentes ao controle das inundações, consideradas como fenômeno tanto físico quanto social-econômico que afetam, e por sua vez são afetadas por ações antrópicas. São questões amplamente estudadas, como se verificou neste trabalho, que reconhece os problemas das abordagens tradicionais de gestão das águas urbanas, ancoradas particularmente numa visão higienista, recomendando concepções de sistemas alternativos que considerem, em especial, arranjos mais próximos dos sistemas de drenagem natural, capacidade de absorção e permeabilidade do solo, e medidas de controle na fonte.

Destaca-se, nessa direção, a centralidade dos aspectos institucionais para a proposição de marcos legais a uma necessária mudança de paradigma para as cidades brasileiras. O estudo do arcabouço normativo e das práticas de manejo de águas pluviais na cidade de São Carlos reforça a premissa tradicional ainda presente que orienta o planejamento urbano municipal no campo da drenagem urbana. No entanto, observam-se ações emergentes, sobretudo a partir dos anos 2000, com a criação de instrumentos orientadores de política e gestão urbanas, destacando-se as diretrizes em processos de licenciamento de empreendimentos, como reservatórios de detenção e retenção, poços de infiltração, reserva de áreas permeáveis nos lotes e sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais. Na prática, porém, a despeito do Plano Municipal de Drenagem propor um manual que indique a diversificação de técnicas, as diretrizes pelas quais a SMOP tem orientado o licenciamento de novos empreendimentos são reduzidas aos reservatórios de detenção.

Lacunas de conhecimento nesse quadro normativo e experiências de práticas inspiradoras podem ser avaliadas a partir do contexto europeu, especialmente no que diz respeito ao exemplo italiano, país que apresenta práticas de gerenciamento, comunicação e mapeamento de áreas de risco de inundação já bastante reconhecidas, sobretudo pela cobertura nacional dos dados espaciais e dos históricos de eventos dessa natureza, que são disponibilizados de forma pública e de fácil acesso.



A necessidade de estudos e previsões adequadas da ocorrência de inundação, assim como a magnitude dela, justifica, à luz da prática na Itália, o desenvolvimento de um quadro normativo e de um banco de dados espaciais mais robusto em cidades brasileiras, especialmente aquelas mais impactadas pelo fenômeno das inundações. O fornecimento desse nível de informações seria fundamental inclusive para validar e fundamentar simulações hidrológicas.

Em São Carlos, a única fonte verificada para obtenção de dados reais discretizados de precipitação é através da rede de monitoramento pluviográfica da cidade; porém, os oito postos implantados apresentam problema de sub-medição nos registros, erros que foram comprovados sobretudo envolvendo chuvas mais intensas. Trata-se de uma limitação das estações automáticas do tipo *Tipping Bucket* (báscula), largamente utilizadas, podendo trazer impactos significativos em estudos da comunidade científica local quando não operadas corretamente e não se realizar as devidas calibrações acompanhadas do entendimento dessa fragilidade.

Como consequência imediata, essa carência de dados observados termina por limitar trabalhos envolvendo estudos hidrológicos, os quais lançam mão de métodos empíricos que podem ser aplicados na etapa de planejamento e de detalhamento de projetos, assim como em casos nos quais se busca simular cenários referentes ao comportamento de um sistema de drenagem. Deixa-se como alerta, assim, a necessidade de revisão da rede de monitoramento pluviográfica do município.

De fato, apesar dessas fragilidades, a produção de hidrogramas para diferentes cenários de urbanização trouxe contribuições importantes ao Projeto SML. A resposta favorável dos hidrogramas para essa proposta de projeto com uma urbanidade diferenciada, especialmente do ponto de vista do ciclo hidrológico, em comparação com o cenário presente e o cenário de urbanização completa (análogo ao que ocorreu no território da bacia do Gregório) ficou evidente nesse estudo. Foi interessante observar que as vazões máximas resultantes do cenário do projeto permaneceram inferiores, inclusive, aos do cenário atual considerando os mesmos períodos de retorno.

Entende-se aqui que os hidrogramas, ao lado de cartografias, são meios estratégicos de comunicar, condensar e representar informações complexas, com a grande potência de proporcionar uma imediata compreensão visual.

A crescente disponibilidade e adoção de geotecnologias como softwares de sistema de informações geográficas (SIG) é especialmente útil nesse sentido. A constituição de uma base física detalhada do território de estudo e, em particular, o desenvolvimento de cartografias de

risco ou de manchas de inundação (observadas e simuladas), podem fornecer informações fundamentais em relação ao histórico de inundações passadas e antecipação de eventos com diferentes períodos de retorno. Modelos computacionais, como softwares de modelagem hidráulica-hidrológica a exemplo do HEC-RAS – em conjunto com elementos de entrada obtidos através de hidrogramas e sua base de dados –, além de serem particularmente interessantes para automatizar o processo de propagação das ondas de cheias, compõem ferramentas importantes para a elaboração dessas cartografias. A grande questão, porém, é a calibração e validação dessa modelagem, uma vez que, nas cidades brasileiras em geral, persiste uma lacuna de dados observados (e confiáveis) que necessita ser preenchida.

Os estudos hidrológicos, representados aqui pela produção dos hietogramas e hidrogramas de projeto (e toda a ciência relacionada aos mesmos), assim como as cartografias complementares que podem ser desenvolvidas a partir deles, mais do que elementos de suporte à tomada de decisão, constituem instrumentos preciosos ao criar um espaço valioso de debate e, inclusive, de possibilidade de contestação. No caso da presente pesquisa, esses estudos fundamentaram uma margem oportuna, alternativa e transformadora para a cidade: um projeto de urbanismo de impacto reduzido para um território considerado atualmente vetor de expansão urbana, incorporando abordagens de manejo de águas pluviais, sob a perspectiva dos fluxos hidrológicos, enquanto camada estratégica para tensionar e problematizar a hegemonia de abordagens de drenagem urbana convencionais e lógicas que historicamente orientaram o modelo de urbanização do município.







## Referências

- ABREU, F. G. **Análise de influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas.** 2013. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- ACSELRAD, H. Ambientalização das lutas sociais – o caso do movimento por justiça ambiental. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, p.103-119, 2010.
- ALMEIDA, M. F. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos – SP.** 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.
- ANTONIO, M. A.; ANDRADE, J. P. M. Inundações em São Carlos, SP: avaliação de chuvas com radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.3255- 3262.
- ASCER, N. **Dilúvio é um mito comum a vários povos.** Disponível em:<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/especial/fj0901200515.htm>>. Acesso em: 3 set. 2018.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, 2011.
- BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial da cidade de São Carlos, SP.** 1991. 327 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- BARTALINI, Vladimir. **A trama capilar das águas na visão cotidiana da paisagem.** Disponível em: <[www.usp.br/revistausp/70/08-vladimir.pdf](http://www.usp.br/revistausp/70/08-vladimir.pdf)>. Acesso em: 3 set. 2018.
- BARROS, M. O Livro das ignoranças. In: \_\_\_\_\_. **Poesia completa.** São Paulo: Leya, 2013.
- BISWAS, A. K. **History of hydrology.** Amsterdam: North-Holland, 1970.
- BRAGA, S.M.; FERNANDES, C.V.S. (2007). **Performance de Sensores de Precipitação do Tipo “Tipping Bucket” (Báscula) – Um Alerta para a Ocorrência de Erros.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 12 (1), p. 197-204, 2006.
- BRAGA, S.M. et al. Avaliação da performance de pluviômetros de báscula: sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2008.
- BRASIL. **Constituição Federal - 1988.** Disponível em:<[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- BRASIL. **Lei federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/Leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Leis/L6766.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <[planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9605.htm](http://planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 10.257, de 10 de Julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 10.932, de 3 de agosto de 2004.** Altera o art. 4º da lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que "dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências". Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.932.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.932.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 11.977, de 07 de julho de 2009.** Dispõe sobre o programa minha casa, minha vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o decreto-lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941, as leis nºs 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a medida provisória nº 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/111977.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/111977.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

BRECHT, B. **Poemas.** Traduzido por Arnaldo Saraiva. Lisboa: Presença, 1973.

BRITTO, A. L.; SILVA, V. A. C. Viver às margens dos rios: uma análise da situação dos moradores da favela Parque Unidos do Acari. In: COSTA, L. M. S. A. (Org.). **Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras.** Rio de Janeiro: Viana & Mosley; PROURB, 2006. p.17-32.

CABRAL, J. J. S. P. et al. Modelos computacionais para drenagem urbana. In: RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.112-148.

CALVINO, I. **Le Città invisibili.** Milano: Oscar Moderni, 2016.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARDOSO, A. S. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas**. 2008. 197 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CAVALCANTI, D. L. O.; SILVA, D. F.; REIS, L. F. R. Análises preliminares de dados de monitoramento das bacias urbanas do município de São Carlos-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015.

CONCEIÇÃO, N. R. **Inconfidência primeira**. São Paulo: Patuá, 2016.

CORREIA, E. F. G. **Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação**. 2011. 198 p. Dissertação (Mestrado) - em Engenharia de Computação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

COSTA, L. M. S. A. Rios urbanos e o desenho da paisagem. In: COSTA, L. M. S. A. (Org.). **Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: Viana & Mosley; PROURB, 2006. p.9-15.

COUTO, M. **Um Rio chamado tempo, uma casa chamada terra**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

DECINA, T. G. T. **Análise de medidas de controle de inundações a partir da avaliação de cenários de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, São Carlos-SP**. 2012. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro, 1990.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. **River channel management: towards sustainable catchment hydrosystems**. Londres: Arnold, 2004.

EUROPEAN COMISSION. **Directive 2007/60/EC of the European parliament and of the council of 23 october 2007 on the assessment and management of flood risks**. 2007. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EN>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

FAUSTINO, A. S. **Gestão de águas pluviais urbanas através da abordagem *water sensitive urban design*: desafios e potencialidades para o município de São Carlos - SP**. 2017. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

FEDERAL INTERAGENCY STREAM CORRIDOR RESTORATION WORKING GROUP. **Stream corridor restoration: principles, processes and practices**. Washington: FISCRWG, 2001.



FRANCO, M. A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume; FAPESP, 2000.

G1 SÃO CARLOS. **Chuva forte em São Carlos, SP, causa pontos de alagamento**, 20 mar. 2018. Disponível em:<<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/chuva-forte-em-sao-carlos-sp-causa-alagamento-em-diversos-pontos-veja-fotos.ghml>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

GOPAN. **GeoPan Atl@s:the APP**. Disponível em:<[http://geoserver.atlas.polimi.it/examples/servlets/Geopan/C/www\\_ing/Entry/Imageb.html](http://geoserver.atlas.polimi.it/examples/servlets/Geopan/C/www_ing/Entry/Imageb.html)>. Acesso em: 12 jan. 2019.

GHILARDI, A. S.; DUARTE, C. R. DE S. Ribeirão Preto: os valores naturais e culturais de suas paisagens urbanas. In: COSTA, L. M. S. A. (org.) **Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: PROURB – FAU – UFRJ, 2006. p. 95- 119.

GOMES, J. F. Inundação. A maior tragédia de Florença foi há 50 anos. **Observador**, Lisboa, 4 nov. 2016. Disponível em:<<https://observador.pt/2016/11/04/inundacao-a-maior-tragedia-de-florenca-foi-ha-50-anos/>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

GORSKI, Maria C. B. **Rios e Cidades: Ruptura e Reconciliação**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

HARVEY, D. Do Gerenciamento ao empresariamento: a transformação da administração urbana no capitalismo tardio. **Espaço e Debates**, n.39, p. 48-64, 1996.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza**. Rio de Janeiro: Mauad X; Inverde, 2013.

HOLANDA, S. B. **Raízes do Brasil**. 26. ed. São Paulo: Companhia das Letras, [1936] 1995.

HOUGH, M. **Naturaleza y ciudad**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. **Water Resources Research**, v.3, n.4, p.1007-1019, 1967.

INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN THE EUROPEAN COMMUNITY(INSPIRE). **INSPIRE Geoportal**. Disponível em:<<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População estimada [2018]**. 2018. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ITÁLIA. **Regio decreto 25 luglio 1904, n.523**. 1904. Disponível em:<[www.minambiente.it/sites/default/files/RD\\_25-7-1904\\_n.523.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/RD_25-7-1904_n.523.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Legge 18 maggio 1989, n. 183**. 1989. Disponível em:<[www.pcn.minambiente.it/mattm/wp-content/uploads/2017/03/direttiva\\_alluvioni/L183\\_1989.pdf](http://www.pcn.minambiente.it/mattm/wp-content/uploads/2017/03/direttiva_alluvioni/L183_1989.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152**. 1999. Disponível em:<[www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/99152dl.htm](http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/99152dl.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42**. 2004. Disponível em:<[www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1226395624032\\_Codice>2004.pdf](http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1226395624032_Codice>2004.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2019.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2000.

KAHTOUNI, S. **Cidades das águas**. São Carlos: Rima, 2004.

KRIWACZEK, P. **A Mesopotâmia e o nascimento da civilização**. Rio de Janeiro: Zahar, 2018.

LEVI, P. **O Ofício alheio**. São Paulo: Ed.Unesp, 2016.

\_\_\_\_\_. **Il Sistema periodico**. 29.ed. Torino: Einaudi, 2017.

LIMA, M. C. P. B.; SCHENK, L. B. M. Rios e cidade: processos de construção da forma urbana de São Carlos, SP. In: COLÓQUIO QUAPÁ-SEL-SISTEMAS DE ESPAÇOS LIVRES: transformações e permanências no século XXI, 11., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU/USP, 2016.

LIMA, R. P. **O Processo de (des) controle da expansão urbana de São Carlos (1857-1977)**. 2007. 193 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MENDES, H. C.; MENDIONDO, E. M. Histórico da expansão urbana e incidência de inundações: o caso da Bacia do Gregório, São Carlos – SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.1, p.17-27, jan./mar. 2007.

MESQUITA, A. P. **Parcelamento do solo urbano e suas diversas formas**. Curitiba: IESDE Brasil, 2008.

NOLL, J. F. A Água na produção da paisagem recriada: paisagens arquitetônicas nos limites e bordas do rio Oos e do rio Guadalupe. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 2007, São Paulo. **Resumos expandidos e programa...** São Paulo: FAU/USP, 2007.

OYAMA, A. C.; SCHENK, L.B.M. Patrimônio líquido: experiências, conflitos e perspectivas extraídas da situação das águas urbanas na Bacia do Gregório / São Carlos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2015, São Carlos. **Resumos...** São Paulo: USP, 2015.

PESSOA, F. **Livro do desassossego**. Rio de Janeiro: Tinta-da-china Brasil, 2016. Edição de Jerónimo Pizarro.

PFAFSTETTER, O. **Chuvvas intensas no Brasil**. Ministério da Aviação e Obras Públicas e Departamento Nacional de Obras de Saneamento, Rio de Janeiro, p. 419, 1957.

PIANO per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po. 2018. Disponível em:<[www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale /servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/territorio/pianificazione-di-bacino/piano-assetto-idrogeologico-pai/piano-assetto-idrogeologico-pai](http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale /servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/territorio/pianificazione-di-bacino/piano-assetto-idrogeologico-pai/piano-assetto-idrogeologico-pai)>. Acesso em: 13 jan. 2019.

PORTO, R. M. **Elementos de macrodrenagem urbana**. São Paulo: SANERH, 2018.

PORTO, R. L. L. (Org.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP/ABRH, 1991.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.43-60, 2008.

PREFEITURA dá início às obras de recuperação dos estragos causadas pelo temporal em março. **A CIDADE ON**, São carlos, 23 abr. 2018. Disponível em:<<https://www.acidadeon.com/saocarlos/cotidiano/NOT,0,0,1323781,prefeitura+da+inicio+as+obras+de+recuperacao+dos+estragos+causadas+pelo+temporal+em+marco.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

REGIONE LOMBARDIA. **Geoportale**. Disponível em:<<http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

REIS, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2006.

RIBEIRO, R. J. **A Universidade e a vida atual: Fellini não via filmes**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSA, J. G. **Primeiras estórias**. 16.ed. Rio de Janeiro: 2016. Edição comemorativa 2016.

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

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico-informacional**. 5.ed. São Paulo: Edusp, 2013.

SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal. **Lei nº 13.246 de 2003**. Dispõe sobre a construção de reservatório de detenção ou retenção de águas em conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas. São Carlos, 2003.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.691 de 25 de novembro de 2005**. Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos. São Carlos, 2005.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 15.958 de 29 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre código de obras e edificações do município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos, 2011.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 18.053 de 19 de dezembro de 2016.** Institui o plano diretor do município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos, 2016a.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 17.729 de 10 de fevereiro de 2016.** Cria o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva e institui a sua obrigatoriedade nos imóveis localizados no município, e dá outras providências. São Carlos, 2016b.

\_\_\_\_\_. **Diretrizes para drenagem urbana.** São Carlos, 2010.

SÃO PAULO (Cidade). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais:** aspectos tecnológicos; diretrizes para projeto. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 12.526 de 02 de janeiro de 2007.** Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. São Paulo, 2007.

SCHENK, L. B. M. Urbanização na Bacia do Córrego Santa Maria do Leme: uma experiência didática na proposição de cenários futuros. In: SEMINÁRIO URBIS: grupo de pesquisa em história da cidade, arquitetura e paisagem, 2015, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: IAU/USP, 2015.

SCHENK, L. B. M.; PERES, R. B. Agentes produtores e espaços livres na forma urbana de São Carlos. In: CÓLOQUIO QUAPÁ-SEL, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU/USP, 2014.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS DE SÃO CARLOS. **Diretrizes para drenagem urbana.** São Carlos: PMSC, 2010.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS DE SÃO CARLOS. **Plano diretor de drenagem urbana ambientalmente sustentável do município de São Carlos.** São Carlos: PMSC, 2011. 3v.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS DE SÃO CARLOS (SMOP). **Diretrizes para Drenagem Urbana.** São Carlos, novembro de 2014.

SEPE, P. M.; PEREIRA, H. M. S. B.; BELLENZANI, M. L. O Novo código florestal e sua aplicação em áreas urbanas: uma tentativa de superação de conflitos?. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 3., 2014, Belém. **Anais...** [S.l.:s.n.].

SILVA, P. R. **Fatores de influência na urbanização em APPs – áreas de preservação permanente:** o caso da APP do córrego do Gregório - São Carlos / SP. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2010.

SILVEIRA, A. L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais.** Porto Alegre: ABRH, Vol 10(1), Jan/Mar, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2009.





SNYDER, F. F. Syntetic unit-graphs. **EOS Transactions American Geophysical Union**, v.19, n.1, p.447-454, 1938.

SOUZA, A. G. Favelas, invasões e ocupações coletivas nas grandes cidades brasileiras – (re)qualificando a questão para Salvador - BA. **Cadernos Metr pole**, São Paulo, n.5, p.63-89, 2001.

SPIRN, A. **O Jardim de granito, a natureza no desenho da cidade**. São Paulo: Edusp, 1995.

TÃO, N. G. R. **Diretrizes para a elabora o de projetos urbanos de impacto ambiental reduzido**: aplica o no município de São Carlos, SP. 2017. 180 f. Disserta o (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

TOMAZ, P. **C culos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. 2002. Disponível em:<[www.pliniotomaz.com.br](http://www.pliniotomaz.com.br)>. Acesso em: 13 jan. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed.Universitária UFRGS, 1998.

\_\_\_\_\_. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH** - revista brasileira de recursos hídricos, v.7, n.1, p.5-27, 2002.

\_\_\_\_\_. **Gestão das águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. Brasília: Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005.

\_\_\_\_\_.  guas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.97-112, jan. 2008.

\_\_\_\_\_. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concep o. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.2, p.5-12, jul./dez. 1997.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater detention for drainage, water quality and CSO management**. New Jersey: PTR-Practice Hall, 1990.

WARD, R. **Floods**: a geographical perspective. New York: John Wiley, 1978.

WILLIAMS, R. Ideas of nature. In: \_\_\_\_\_. **Problems in materialism and culture**: selected essays. London: Verso, 1980. p.67-71.

## Apêndice A – Detalhamento das aplicações do capítulo 7

Figura A1 – dados de entrada dos estudos hidrológicos.

### CENÁRIO ATUAL (2014)

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km <sup>2</sup> )	11,18
CN	79,47
Comprimento do talvegue/axial L (km)	4,71
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00

Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	65,79	1,10
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função tipo Gama

Precipitação unitária P: 1 cm

O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_p/5$

Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,22	ou	13,16	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,77	ou	46,05	min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	2,05	ou	122,96	min
Vazão de pico qp (m <sup>3</sup> /s/cm)	30,30			

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

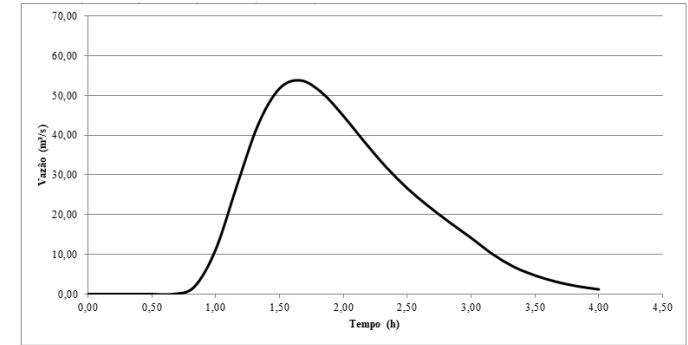
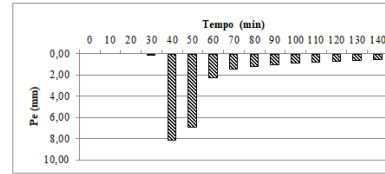
Capacidade máxima de retenção S (mm)	65,63
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	13,13
0,8*S (mm)	52,50



Figura A3 – Cenário atual: Aplicação *USBR* combinado com *SCS* / H.U.C. de *Mockus* aproximado pela função tipo *Gama*, para  $Tr = 25$  anos.

*Chuva efetiva: USBR combinado com método SCS*

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	154,34	25,72	25,72	2,78	2,78	0,00	0,00
20	113,85	37,95	12,23	4,95	7,73	0,00	0,00
30	90,53	45,27	7,32	7,32	15,05	0,05	0,05
40	75,32	50,21	4,95	25,72	40,77	8,19	8,14
50	64,59	53,83	3,62	12,23	53,00	15,07	6,88
60	56,61	56,61	2,78	3,62	56,61	17,33	2,26
70	50,43	58,84	2,23	2,23	58,84	18,77	1,44
80	45,50	60,67	1,83	1,83	60,67	19,97	1,21
90	41,48	62,22	1,54	1,54	62,22	21,01	1,03
100	38,12	63,54	1,32	1,32	63,54	21,90	0,90
110	35,29	64,69	1,15	1,15	64,69	22,69	0,79
120	32,86	65,71	1,02	1,02	65,71	23,39	0,70
130	30,75	66,62	0,91	0,91	66,62	24,02	0,63
140	28,90	67,43	0,82	0,82	67,43	24,59	0,57



*H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama*

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

*Processo de convulsão:*

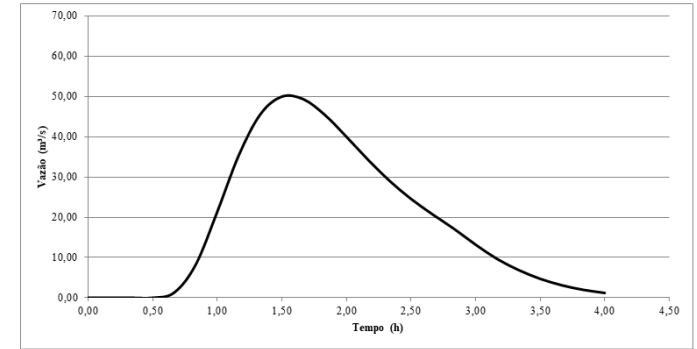
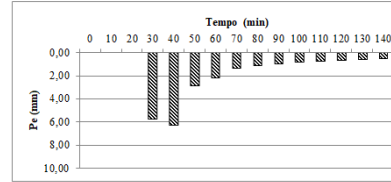
Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	0,01	0,81	0,69	0,23	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06
0,00	0,00														
0,00	0,00														
0,00	0,00														
0,00	0,00														
0,00	0,00														
0,01	0,00														
0,06	1,78														
0,12	9,56	1,51	0,00												
0,16	18,59	8,08	0,50	0,00											
0,16	23,85	15,71	2,66	0,31	0,00										
0,14	24,36	20,15	5,17	1,69	0,26	0,00									
0,12	21,54	20,58	6,63	3,28	1,42	0,23	0,00								
0,09	17,25	18,20	6,77	4,21	2,76	1,21	0,20	0,00							
0,06	12,84	14,57	5,99	4,30	3,54	2,36	1,05	0,17	0,00						
0,04	9,04	10,84	4,79	3,80	3,61	3,02	2,05	0,93	0,15	0,00					
0,03	6,09	7,64	3,57	3,04	3,19	3,09	2,63	1,80	0,82	0,14	0,00				
0,02	3,96	5,15	2,51	2,27	2,56	2,73	2,68	2,31	1,60	0,74	0,12				
0,01	2,50	3,35	1,69	1,60	1,90	2,19	2,37	2,36	2,05	1,44	0,67				
0,01	1,54	2,11	1,10	1,08	1,34	1,63	1,90	2,09	2,10	1,84	1,30				
	0,93	1,30	0,70	0,70	0,90	1,15	1,41	1,67	1,86	1,88	1,67				
		0,79	0,43	0,44	0,59	0,77	1,00	1,24	1,49	1,67	1,70				
			0,26	0,27	0,37	0,50	0,67	0,88	1,11	1,33	1,51				
				0,16	0,23	0,32	0,44	0,59	0,78	0,99	1,21				
					0,14	0,20	0,28	0,38	0,52	0,70	0,90				
						0,12	0,17	0,24	0,34	0,47	0,63				
							0,10	0,15	0,22	0,31	0,43				
								0,09	0,13	0,19	0,28				
									0,08	0,12	0,18				
										0,07	0,11				
											0,07				

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
0,01	40	0,67
1,85	50	0,83
11,19	60	1,00
27,33	70	1,17
42,69	80	1,33
51,77	90	1,50
53,79	100	1,67
50,67	110	1,83
44,87	120	2,00
38,28	130	2,17
32,04	140	2,33
26,65	150	2,50
22,13	160	2,67
18,04	170	2,83
14,17	180	3,00
10,11	190	3,17
6,90	200	3,33
4,71	210	3,50
3,12	220	3,67
1,98	230	3,83
1,20	240	4,00

Figura A4 – Cenário atual: Aplicação *USBR modificado* combinado com *SCS / H.U.C. de Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para **Tr = 25 anos**.

Chuva efetiva: *USBR modificado* combinado com método *SCS*

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	154,34	25,72	25,72	2,78	2,78	0,00	0,00
20	113,85	37,95	12,23	7,32	10,10	0,00	0,00
30	90,53	45,27	7,32	25,72	35,82	5,83	5,83
40	75,32	50,21	4,95	12,23	48,05	12,13	6,30
50	64,59	53,83	3,62	4,95	53,00	15,07	2,94
60	56,61	56,61	2,78	3,62	56,61	17,33	2,26
70	50,43	58,84	2,23	2,23	58,84	18,77	1,44
80	45,50	60,67	1,83	1,83	60,67	19,97	1,21
90	41,48	62,22	1,54	1,54	62,22	21,01	1,03
100	38,12	63,54	1,32	1,32	63,54	21,90	0,90
110	35,29	64,69	1,15	1,15	64,69	22,69	0,79
120	32,86	65,71	1,02	1,02	65,71	23,39	0,70
130	30,75	66,62	0,91	0,91	66,62	24,02	0,63
140	28,90	67,43	0,82	0,82	67,43	24,59	0,57



H.U.C. de *Mockus* aproximado com a função *Gama*

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de convulsão:

Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	0,58	0,63	0,29	0,23	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06
0,00	0,00														
0,00		0,00													
0,00			0,00												
0,00				0,00											
1,28					0,00										
6,85						0,00									
13,32							0,64								
17,09								0,50							
17,45									0,31						
15,43										1,69					
12,36											0,26				
9,20												0,00			
6,48													0,00		
4,37														0,00	
2,84															0,00
1,79															0,00
1,11															0,00
0,67															0,00

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
1,28	40	0,67
8,23	50	0,83
21,37	60	1,00
35,42	70	1,17
45,59	80	1,33
50,02	90	1,50
49,38	100	1,67
45,47	110	1,83
40,05	120	2,00
34,35	130	2,17
29,10	140	2,33
24,58	150	2,50
20,74	160	2,67
17,14	170	2,83
13,21	180	3,00
9,66	190	3,17
6,90	200	3,33
4,71	210	3,50
3,12	220	3,67
1,98	230	3,83
1,20	240	4,00
		0,69
		0,37
		0,18
		0,11
		0,07

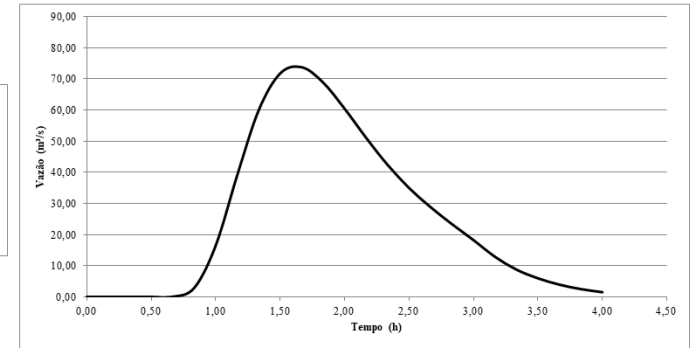
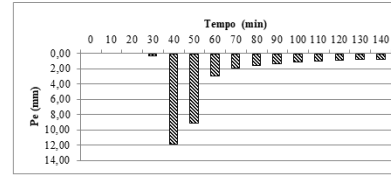




Figura A7 – **Cenário atual:** Aplicação **USBR** combinado com **SCS / H.U.C.** de **Mockus** aproximado pela **função tipo Gama**, para **Tr = 50 anos**.

*Chuva efetiva: USBR combinado com método SCS*

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	181,77	30,29	30,29	3,28	3,28	0,00	0,00
20	134,08	44,69	14,40	5,83	9,11	0,00	0,00
30	106,62	53,31	8,62	8,62	17,72	0,30	0,30
40	88,71	59,14	5,83	30,29	48,02	12,11	11,81
50	76,07	63,40	4,26	14,40	62,42	21,14	9,03
60	66,67	66,67	3,28	4,26	66,67	24,06	2,92
70	59,40	69,30	2,62	2,62	69,30	25,90	1,84
80	53,59	71,45	2,16	2,16	71,45	27,45	1,54
90	48,85	73,27	1,82	1,82	73,27	28,76	1,32
100	44,90	74,83	1,56	1,56	74,83	29,90	1,14
110	41,56	76,19	1,36	1,36	76,19	30,91	1,00
120	38,70	77,39	1,20	1,20	77,39	31,79	0,89
130	36,21	78,46	1,07	1,07	78,46	32,59	0,80
140	34,04	79,42	0,96	0,96	79,42	33,31	0,72



*H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama*

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de convulsão:

Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	0,03	1,18	0,90	0,29	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,35	0,00	0,00	0,00	0,35	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,69	0,00	0,00	0,00	0,69	13,88	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,88	0,00	0,00	0,00	0,88	26,98	10,61	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,00	0,00	0,00	0,90	34,60	20,63	3,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	0,80	35,34	26,46	6,67	2,17	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,00	0,00	0,00	0,64	31,26	27,03	8,55	4,21	1,81	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,47	0,00	0,00	0,00	0,47	25,02	23,90	8,73	5,40	3,52	1,55	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	18,63	19,13	7,72	5,52	4,52	3,01	1,34	0,22	0,00	0,00	0,00
0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	13,12	14,24	6,18	4,88	4,62	3,86	2,61	1,18	0,19	0,00	0,00
0,15	0,00	0,00	0,00	0,15	8,84	10,03	4,60	3,91	4,08	3,94	3,34	2,29	1,05	0,17	0,00
0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	5,75	6,76	3,24	2,91	3,27	3,48	3,41	2,93	2,03	0,94	0,16
0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	3,63	4,40	2,18	2,05	2,43	2,79	3,02	3,00	2,61	1,82	0,85
0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	2,24	2,78	1,42	1,38	1,71	2,08	2,42	2,65	2,66	2,34	1,65
					1,35	1,71	0,90	0,90	1,15	1,46	1,80	2,12	2,35	2,39	2,11
						1,03	0,55	0,57	0,75	0,99	1,27	1,58	1,88	2,11	2,16
							0,33	0,35	0,47	0,64	0,85	1,11	1,40	1,69	1,91
								0,21	0,29	0,40	0,56	0,75	0,99	1,26	1,53
									0,18	0,25	0,35	0,49	0,67	0,89	1,14
										0,15	0,22	0,31	0,43	0,60	0,80
											0,13	0,19	0,27	0,39	0,54
												0,11	0,17	0,25	0,35
													0,10	0,15	0,22
														0,09	0,14
															0,08
															0,08

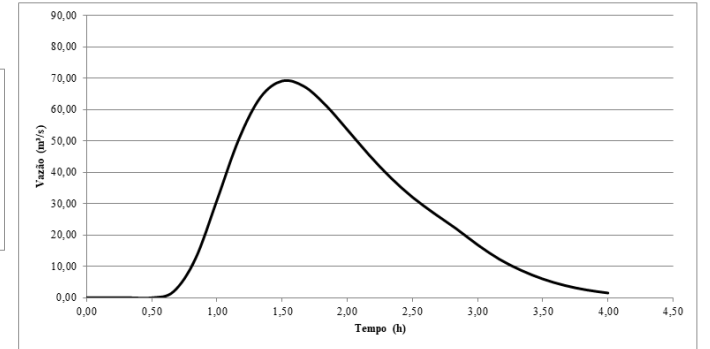
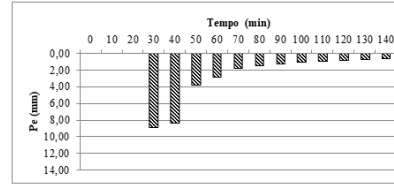
Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
0,07	40	0,67
2,94	50	0,83
16,54	60	1,00
39,11	70	1,17
59,97	80	1,33
71,77	90	1,50
73,79	100	1,67
68,86	110	1,83
60,43	120	2,00
51,10	130	2,17
42,40	140	2,33
34,98	150	2,50
28,83	160	2,67
23,35	170	2,83
18,25	180	3,00
12,89	190	3,17
8,77	200	3,33
5,99	210	3,50
3,95	220	3,67
2,51	230	3,83
1,52	240	4,00



Figura A8 – Cenário atual: Aplicação *USBR modificado* combinado com *SCS / H.U.C. de Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para **Tr = 50 anos**.

*Chuva efetiva: USBR modificado combinado com método SCS*

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	181,77	30,29	30,29	3,28	3,28	0,00	0,00
20	134,08	44,69	14,40	8,62	11,89	0,00	0,00
30	106,62	53,31	8,62	30,29	42,19	8,92	8,92
40	88,71	59,14	5,83	14,40	56,59	17,32	8,40
50	76,07	63,40	4,26	5,83	62,42	21,14	3,83
60	66,67	66,67	3,28	4,26	66,67	24,06	2,92
70	59,40	69,30	2,62	2,62	69,30	25,90	1,84
80	53,59	71,45	2,16	2,16	71,45	27,45	1,54
90	48,85	73,27	1,82	1,82	73,27	28,76	1,32
100	44,90	74,83	1,56	1,56	74,83	29,90	1,14
110	41,56	76,19	1,36	1,36	76,19	30,91	1,00
120	38,70	77,39	1,20	1,20	77,39	31,79	0,89
130	36,21	78,46	1,07	1,07	78,46	32,59	0,80
140	34,04	79,42	0,96	0,96	79,42	33,31	0,72



*H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama*

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

*Processo de conulação:*

Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	0,89	0,84	0,38	0,29	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,95	0,00	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,48	0,00	0,00	0,00	10,48	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20,38	0,00	0,00	0,00	20,38	9,87	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26,14	0,00	0,00	0,00	26,14	19,18	4,50	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26,69	0,00	0,00	0,00	26,69	24,60	8,74	3,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23,61	0,00	0,00	0,00	23,61	25,13	11,21	6,67	2,17	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18,90	0,00	0,00	0,00	18,90	22,22	11,45	8,55	4,21	1,81	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14,07	0,00	0,00	0,00	14,07	17,79	10,13	8,73	5,40	3,52	1,55	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
9,91	0,00	0,00	0,00	9,91	13,24	8,11	7,72	5,52	4,52	3,01	1,34	0,22	0,00	0,00	0,00
6,68	0,00	0,00	0,00	6,68	9,32	6,03	6,18	4,88	4,62	3,86	2,61	1,18	0,19	0,00	0,00
4,34	0,00	0,00	0,00	4,34	6,28	4,25	4,60	3,91	4,08	3,94	3,34	2,29	1,05	0,17	0,00
2,74	0,00	0,00	0,00	2,74	4,09	2,86	3,24	2,91	3,27	3,48	3,41	2,93	2,03	0,94	0,16
1,69	0,00	0,00	0,00	1,69	2,58	1,86	2,18	2,05	2,43	2,79	3,02	3,00	2,61	1,82	0,85
1,02	0,00	0,00	0,00	1,02	1,59	1,18	1,42	1,38	1,71	2,08	2,42	2,65	2,66	2,34	1,65
0,96	0,00	0,00	0,00	0,96	0,73	0,90	0,90	1,15	1,46	1,80	2,12	2,35	2,39	2,11	2,11
0,44	0,00	0,00	0,00	0,44	0,55	0,57	0,75	0,99	1,27	1,58	1,88	2,11	2,16	2,16	2,16
0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,35	0,47	0,64	0,85	1,11	1,40	1,69	1,91	1,91	1,91	1,91
0,21	0,00	0,00	0,00	0,21	0,29	0,40	0,56	0,75	0,99	1,26	1,53	1,76	1,91	1,91	1,91
0,18	0,00	0,00	0,00	0,18	0,25	0,35	0,49	0,67	0,89	1,14	1,39	1,64	1,82	1,91	1,91
0,15	0,00	0,00	0,00	0,15	0,22	0,31	0,43	0,60	0,80	1,04	1,29	1,54	1,76	1,91	1,91
0,13	0,00	0,00	0,00	0,13	0,19	0,27	0,39	0,54	0,74	0,99	1,24	1,49	1,74	1,91	1,91
0,11	0,00	0,00	0,00	0,11	0,17	0,25	0,35	0,50	0,70	0,95	1,20	1,45	1,70	1,91	1,91
0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,15	0,22	0,31	0,43	0,60	0,80	1,04	1,29	1,54	1,76	1,91
0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14	0,20	0,28	0,39	0,54	0,74	0,99	1,24	1,49	1,76	1,91
0,08	0,00	0,00	0,00	0,08	0,12	0,18	0,25	0,35	0,50	0,70	0,95	1,20	1,45	1,76	1,91
0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	0,15	0,22	0,31	0,43	0,60	0,80	1,04	1,29	1,54	1,76

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
1,95	40	0,67
12,32	50	0,83
31,08	60	1,00
50,45	70	1,17
63,87	80	1,33
69,12	90	1,50
67,44	100	1,67
61,44	110	1,83
53,59	120	2,00
45,55	130	2,17
38,26	140	2,33
32,07	150	2,50
26,88	160	2,67
22,09	170	2,83
16,87	180	3,00
12,29	190	3,17
8,77	200	3,33
5,99	210	3,50
3,95	220	3,67
2,51	230	3,83
1,52	240	4,00

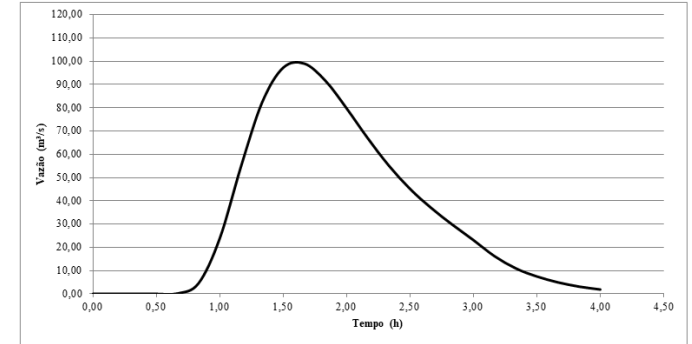
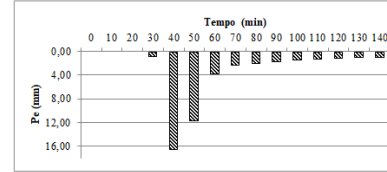




Figura A11 – **Cenário atual:** Aplicação **USBR** combinado com **SCS / H.U.C. de Mockus** aproximado pela **função tipo Gama**, para **Tr = 100 anos**.

**Chuva efetiva: USBR combinado com método SCS**

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	214,07	35,68	35,68	3,86	3,86	0,00	0,00
20	157,91	52,64	16,96	6,86	10,72	0,00	0,00
30	125,57	62,78	10,15	10,15	20,87	0,82	0,82
40	104,47	69,65	6,86	35,68	56,55	17,29	16,47
50	89,60	74,66	5,01	16,96	73,51	28,93	11,64
60	78,52	78,52	3,86	5,01	78,52	32,64	3,71
70	69,95	81,61	3,09	3,09	81,61	34,97	2,33
80	63,12	84,15	2,54	2,54	84,15	36,92	1,95
90	57,53	86,30	2,14	2,14	86,30	38,57	1,66
100	52,88	88,13	1,84	1,84	88,13	40,00	1,43
110	48,95	89,73	1,60	1,60	89,73	41,26	1,26
120	45,57	91,14	1,41	1,41	91,14	42,37	1,11
130	42,65	92,40	1,26	1,26	92,40	43,37	1,00
140	40,09	93,53	1,13	1,13	93,53	44,27	0,90



**H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama**

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

**Processo de convecção:**

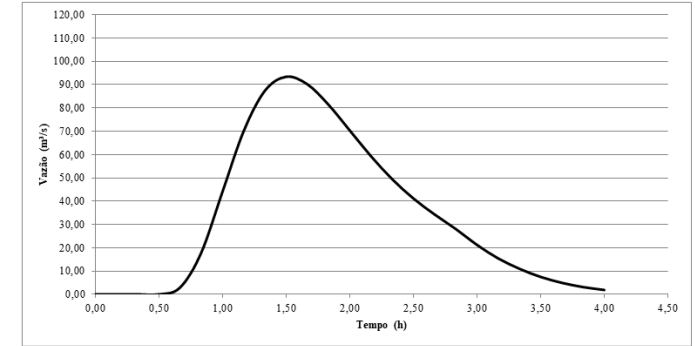
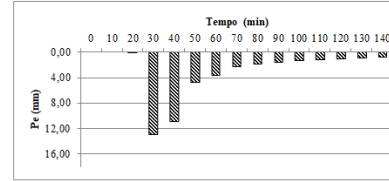
Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	0,08	1,65	1,16	0,37	0,23	0,19	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,96	3,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,87	19,36	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	37,63	13,68	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,45	48,27	26,60	4,36	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,16	49,30	34,12	8,47	2,74	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,73	43,60	34,85	10,86	5,32	2,29	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,29	34,91	30,82	11,09	6,83	4,44	1,95	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	25,98	24,67	9,81	6,98	5,70	3,78	1,68	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,61	18,30	18,37	7,85	6,17	5,82	4,85	3,27	1,48	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	12,33	12,93	5,85	4,94	5,15	4,95	4,20	2,87	1,31	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	8,02	8,72	4,12	3,68	4,12	4,38	4,29	3,68	2,54	1,17	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
0,15	5,07	5,67	2,77	2,59	3,07	3,51	3,79	3,76	3,26	2,28	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	3,12	3,58	1,80	1,74	2,16	2,61	3,03	3,32	3,33	2,92	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,88	2,21	1,14	1,13	1,46	1,84	2,26	2,66	2,95	2,98	2,64	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,70	0,72	0,95	1,24	1,59	1,98	2,36	2,64	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,42	0,44	0,60	0,81	1,07	1,39	1,76	2,11	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,37	0,51	0,70	0,94	1,24	1,57	1,91	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,22	0,31	0,44	0,61	0,83	1,11	1,42	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00
					0,19	0,27	0,39	0,54	0,75	1,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
						0,16	0,24	0,34	0,49	0,67	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00
								0,14	0,21	0,31	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00
									0,13	0,19	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
										0,11	0,17	0,28	0,00	0,00	0,00
											0,10	0,17	0,28	0,00	0,00
												0,10	0,17	0,28	0,00

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
0,18	40	0,67
4,57	50	0,83
23,77	60	1,00
54,52	70	1,17
82,18	80	1,33
97,22	90	1,50
99,01	100	1,67
91,64	110	1,83
79,79	120	2,00
66,96	130	2,17
55,14	140	2,33
45,16	150	2,50
36,98	160	2,67
29,79	170	2,83
23,15	180	3,00
16,20	190	3,17
10,99	200	3,33
7,50	210	3,50
4,95	220	3,67
3,14	230	3,83
1,90	240	4,00

Figura A12 – Cenário atual: Aplicação *USBR modificado* combinado com *SCS / H.U.C. de Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para **Tr = 100 anos**.

*Chuva efetiva: USBR modificado combinado com método SCS*

t (min)	I (mm/h) a partir da IDF	Altura de chuva acumulada (mm)	Incremento da altura (mm)	Rearranjo (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	214,07	35,68	35,68	3,86	3,86	0,00	0,00
20	157,91	52,64	16,96	10,15	14,01	0,01	0,01
30	125,57	62,78	10,15	35,68	49,69	13,08	13,07
40	104,47	69,65	6,86	16,96	66,64	24,04	10,96
50	89,60	74,66	5,01	6,86	73,51	28,93	4,90
60	78,52	78,52	3,86	5,01	78,52	32,64	3,71
70	69,95	81,61	3,09	3,09	81,61	34,97	2,33
80	63,12	84,15	2,54	2,54	84,15	36,92	1,95
90	57,53	86,30	2,14	2,14	86,30	38,57	1,66
100	52,88	88,13	1,84	1,84	88,13	40,00	1,43
110	48,95	89,73	1,60	1,60	89,73	41,26	1,26
120	45,57	91,14	1,41	1,41	91,14	42,37	1,11
130	42,65	92,40	1,26	1,26	92,40	43,37	1,00
140	40,09	93,53	1,13	1,13	93,53	44,27	0,90



*H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama*

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

*Processo de convulsão:*

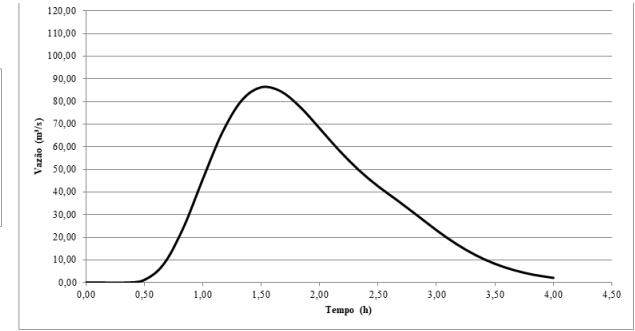
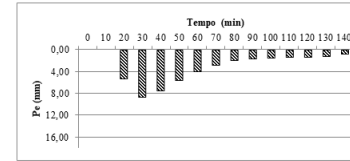
Pe (cm):	0,00	0,00	0,00	1,31	1,10	0,49	0,37	0,23	0,19	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,00	0,00	15,36	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,00	0,00	0,00	29,85	12,88	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	38,29	25,04	5,75	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,00	0,00	0,00	39,11	32,11	11,18	4,36	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,15	0,00	0,00	0,00	34,59	32,80	14,34	8,47	2,74	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	27,69	29,01	14,65	10,86	5,32	2,29	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,30	0,00	0,00	0,00	20,61	23,22	12,96	11,09	6,83	4,44	1,95	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,00	0,00	14,51	17,29	10,37	9,81	6,98	5,70	3,78	1,68	0,27	0,00	0,00	0,00
0,50	0,00	0,00	0,00	9,78	12,17	7,72	7,85	6,17	5,82	4,85	3,27	1,48	0,24	0,00	0,00
0,70	0,00	0,00	0,00	6,36	8,20	5,44	5,85	4,94	5,15	4,95	4,20	2,87	1,31	0,22	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	4,02	5,34	3,66	4,12	3,68	4,12	4,38	4,29	3,68	2,54	1,17	0,20
1,50	0,00	0,00	0,00	2,48	3,37	2,38	2,77	2,59	3,07	3,51	3,79	3,76	3,26	2,28	1,06
2,00	0,00	0,00	0,00	1,49	2,08	1,51	1,80	1,74	2,16	2,61	3,03	3,32	3,33	2,92	2,06
3,00	0,00	0,00	0,00		0,93	1,14	1,13	1,46	1,84	2,26	2,66	2,95	2,98	2,64	2,64
4,00	0,00	0,00	0,00		0,56	0,70	0,72	0,95	1,24	1,59	1,98	2,36	2,64	2,70	2,70
5,00	0,00	0,00	0,00			0,42	0,44	0,60	0,81	1,07	1,39	1,76	2,11	2,38	2,38
6,00	0,00	0,00	0,00				0,27	0,37	0,51	0,70	0,94	1,24	1,57	1,91	1,91
8,00	0,00	0,00	0,00					0,22	0,31	0,44	0,61	0,83	1,11	1,42	1,42
10,00	0,00	0,00	0,00						0,19	0,27	0,39	0,54	0,75	1,00	1,00
15,00	0,00	0,00	0,00							0,16	0,24	0,34	0,49	0,67	0,67
20,00	0,00	0,00	0,00								0,14	0,21	0,31	0,44	0,44
30,00	0,00	0,00	0,00									0,13	0,19	0,28	0,28
40,00	0,00	0,00	0,00										0,11	0,17	0,17
60,00	0,00	0,00	0,00											0,10	0,10

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,00	30	0,50
2,87	40	0,67
17,78	50	0,83
43,84	60	1,00
69,93	70	1,17
87,30	80	1,33
93,39	90	1,50
90,20	100	1,67
81,43	110	1,83
70,41	120	2,00
59,37	130	2,17
49,48	140	2,33
41,19	150	2,50
34,32	160	2,67
28,07	170	2,83
21,24	180	3,00
15,43	190	3,17
10,99	200	3,33
7,50	210	3,50
4,95	220	3,67
3,14	230	3,83
1,90	240	4,00

Figura A13 – Cenário atual: Aplicação Huff 1º quartil combinado com SCS / H.U.C. de Mockus aproximado pela função tipo Gama, para Tr = 100 anos.

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	214,07	35,68	7,14	12,75	11,93	11,93	11,93	0,00	0,00
20	157,91	52,64	14,29	37,12	34,72	22,79	34,72	5,35	5,35
30	125,57	62,78	21,43	54,84	51,29	16,58	51,29	14,04	8,69
40	104,47	69,65	28,57	67,39	63,03	11,73	63,03	21,56	7,52
50	89,60	74,66	35,71	76,04	71,12	8,09	71,12	27,21	5,65
60	78,52	78,52	42,86	81,90	76,61	5,48	76,61	31,21	4,00
70	69,95	81,61	50,00	85,89	80,33	3,73	80,33	34,00	2,79
80	63,12	84,15	57,14	88,73	82,99	2,66	82,99	36,03	2,02
90	57,53	86,30	64,29	90,98	85,10	2,11	85,10	37,65	1,62
100	52,88	88,13	71,43	93,01	86,99	1,89	86,99	39,12	1,47
110	48,95	89,73	78,57	94,99	88,84	1,85	88,84	40,56	1,45
120	45,57	91,14	85,71	96,92	90,65	1,81	90,65	41,98	1,42
130	42,65	92,40	92,86	98,61	92,24	1,59	92,24	43,24	1,26
140	40,09	93,53	100,00	99,71	93,26	1,02	93,26	44,05	0,81



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

Processo de conulação:

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Pe (cm):	0,00	0,00	0,53	0,87	0,75	0,57	0,40	0,28	0,20	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,08
0,00	0,00	0,00													
0,00	0,00	0,00													
0,00	0,00	0,00	0,00												
0,00	0,00	0,00	1,17	0,00											
0,00	0,00	0,00	6,28	1,90	0,00										
0,00	0,00	0,00	12,21	10,21	1,65	0,00									
0,00	0,00	0,00	15,66	19,85	8,84	1,24	0,00								
0,00	0,00	0,00	16,00	25,46	17,18	6,64	0,88	0,00							
0,00	0,00	0,00	14,15	26,01	22,03	12,91	4,70	0,61	0,00						
0,00	0,00	0,00	11,33	23,00	22,51	16,56	9,14	3,28	0,44	0,00					
0,00	0,00	0,00	8,43	18,41	19,90	16,92	11,73	6,38	2,38	0,35	0,00				
0,00	0,00	0,00	5,94	13,71	15,93	14,96	11,98	8,18	4,62	1,90	0,32	0,00			
0,00	0,00	0,00	4,00	9,65	11,86	11,98	10,59	8,36	5,93	3,70	1,73	0,32	0,00		
0,00	0,00	0,00	2,60	6,50	8,35	8,92	8,48	7,39	6,06	4,75	3,35	1,70	0,31	0,00	
0,00	0,00	0,00	1,64	4,23	5,63	6,28	6,31	5,92	5,36	4,85	4,30	3,30	1,67	0,28	0,00
0,00	0,00	0,00	1,01	2,67	3,66	4,23	4,45	4,40	4,29	4,29	4,39	4,24	3,25	1,48	0,18
0,00	0,00	0,00	0,61	1,65	2,31	2,75	3,00	3,10	3,19	3,43	3,89	4,33	4,16	2,87	0,96
0,00	0,00	0,00		0,99	1,43	1,74	1,95	2,09	2,25	2,55	3,11	3,83	4,25	3,68	1,86
0,00	0,00	0,00			0,86	1,07	1,23	1,36	1,51	1,80	2,32	3,06	3,76	3,76	2,38
0,00	0,00	0,00				0,76	0,86	0,99	1,21	1,63	2,28	3,01	3,33	3,33	2,43
0,00	0,00	0,00				0,65	0,76	0,86	0,99	1,21	1,63	2,28	3,01	3,33	2,43
0,00	0,00	0,00					0,46	0,53	0,62	0,79	1,10	1,61	2,24	2,66	2,15
0,00	0,00	0,00						0,32	0,38	0,50	0,71	1,08	1,58	1,98	1,72
0,00	0,00	0,00							0,23	0,31	0,45	0,70	1,06	1,40	1,28
0,00	0,00	0,00								0,19	0,28	0,44	0,69	0,94	0,90
0,00	0,00	0,00									0,17	0,27	0,44	0,61	0,61
0,00	0,00	0,00										0,17	0,27	0,39	0,40
0,00	0,00	0,00											0,17	0,24	0,25
0,00	0,00	0,00												0,14	0,15
0,00	0,00	0,00													0,09
0,00	0,00	0,00													0,09

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
1,17	30	0,50
8,18	40	0,67
24,07	50	0,83
45,59	60	1,00
66,16	70	1,17
80,42	80	1,33
86,26	90	1,50
84,51	100	1,67
77,55	110	1,83
68,11	120	2,00
58,41	130	2,17
49,77	140	2,33
42,54	150	2,50
36,25	160	2,67
29,73	170	2,83
23,12	180	3,00
17,14	190	3,17
12,16	200	3,33
8,28	210	3,50
5,44	220	3,67
3,44	230	3,83
2,10	240	4,00

Figura A14 – Cenário atual - Recorte 1: Aplicação *Huff 1ª quartil* combinado com SCS / H.U.C. de *Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para **Tr = 50 anos**.

**CENÁRIO ATUAL (2014) - RECORTE 1**  
Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	2,56	
CN	79,49	
Comprimento do talvegue/axial L (km)	1,35	
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	821,00	
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	862,00	
Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	19,32	0,32
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função Gama

Precipitação unitária P <sub>1</sub> (cm)	0,06	ou	3,86	min
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,23	ou	13,53	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,60	ou	36,11	min
Tempo de base do hidrograma unitário (Tb) (h)	0,60	ou	36,11	min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	23,62			

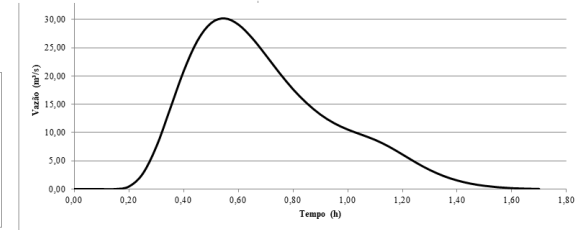
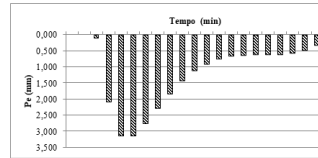
O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_p$

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	65,55
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	13,11
0,8*S (mm)	52,44
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1ª quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
3	243,71	12,19	5,00	3,90	2,60	2,60	2,60	0,00	0,000
6	212,50	21,25	10,00	23,40	15,60	13,00	15,60	0,09	0,091
9	188,56	28,28	15,00	39,16	26,11	10,51	26,11	2,15	2,061
12	169,60	33,92	20,00	51,76	34,51	8,39	34,51	5,27	3,114
15	154,20	38,55	25,00	61,68	41,12	6,62	41,12	8,39	3,121
18	141,44	42,43	30,00	69,39	46,27	5,14	46,27	11,14	2,751
21	130,69	45,74	35,00	75,32	50,22	3,95	50,22	13,41	2,276
24	121,50	48,60	40,00	79,83	53,23	3,01	53,23	15,23	1,817
27	113,56	51,10	45,00	83,26	55,51	2,29	55,51	16,66	1,425
30	106,62	53,31	50,00	85,89	57,26	1,75	57,26	17,77	1,118
33	100,50	55,28	55,00	87,96	58,65	1,38	58,65	18,67	0,896
36	95,07	57,04	60,00	89,68	59,79	1,14	59,79	19,42	0,750
39	90,21	58,64	65,00	91,19	60,80	1,01	60,80	20,09	0,668
42	85,84	60,09	70,00	92,61	61,75	0,95	61,75	20,72	0,631
45	81,00	61,35	75,00	94,00	62,67	0,93	62,67	21,34	0,623
48	78,30	62,44	80,00	95,38	63,59	0,92	63,59	21,97	0,624
51	75,01	63,76	85,00	96,73	64,49	0,90	64,49	22,58	0,615
54	72,00	64,80	90,00	97,98	65,33	0,84	65,33	23,15	0,575
57	69,23	65,77	95,00	99,03	66,02	0,70	66,02	23,64	0,482
60	66,67	66,67	100,00	99,71	66,48	0,45	66,48	23,95	0,315



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	Qp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
3	0,22	0,077	1,81
6	0,44	0,404	9,55
9	0,67	0,774	18,27
12	0,89	0,976	23,06
15	1,11	0,981	23,16
18	1,33	0,853	20,15
21	1,55	0,672	15,87
24	1,77	0,492	11,62
27	2,00	0,341	8,05
30	2,22	0,236	5,34
33	2,44	0,145	3,41
36	2,66	0,090	2,12
39	2,88	0,054	1,29
42	3,11	0,032	0,76
45	3,33	0,019	0,45
48	3,55	0,011	0,26
51	3,77	0,006	0,14
54	3,99	0,003	0,08
57	4,21	0,002	0,04
60	4,44	0,001	0,02

Processo de convulsão:

Pe (cm):	0,00	0,01	0,21	0,31	0,31	0,28	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Q1 (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	3	0,05
0,00	6	0,10
0,02	9	0,15
0,46	12	0,20
2,70	15	0,25
7,52	18	0,30
14,13	21	0,35
20,88	24	0,40
26,24	27	0,45
29,37	30	0,50
30,20	33	0,55
29,11	36	0,60
26,74	39	0,65
23,72	42	0,70
20,57	45	0,75
17,66	48	0,80
15,21	51	0,85
13,20	54	0,90
11,66	57	0,95
10,54	60	1,00
9,64	63	1,05
8,71	66	1,10
7,53	69	1,15
6,13	72	1,20
4,68	75	1,25
3,38	78	1,30
2,33	81	1,35
1,53	84	1,40
0,97	87	1,45
0,58	90	1,50
0,33	93	1,55
0,17	96	1,60
0,08	99	1,65
0,02	102	1,70

Figura A15 – Cenário atual - Recorte 2: Aplicação *Huff 1º quartil* combinado com SCS / H.U.C. de *Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para  $Tr = 50$  anos.

**CENÁRIO ATUAL (2014) - RECORTE 2**  
 Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	4,93
CN	77,13
Comprimento do talvegue/axial L (km)	1,57
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	808,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	867,00
Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	20,00
	0,33
	min
	horas

Dados de entrada para o H.U.C. Mockus aproximado com a função tipo Gama

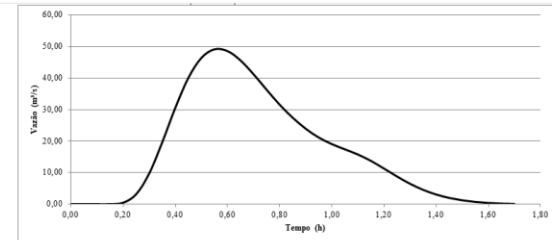
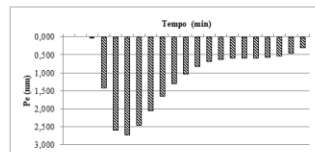
Precipitação unitária P: 1 cm	O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja: $D \leq t_c/5$
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,07
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,23
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	0,62
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	43,95

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	75,31
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	15,06
0,8*S (mm)	60,25
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1º quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
3	243,71	12,19	5,00	3,90	2,60	2,60	2,60	0,00	0,000
6	212,50	21,25	10,00	23,40	15,60	13,00	15,60	0,00	0,004
9	188,56	28,28	15,00	39,16	26,11	10,51	26,11	1,41	1,410
12	169,60	33,92	20,00	51,76	34,51	8,39	34,51	3,99	2,577
15	154,20	38,55	25,00	61,68	41,12	6,62	41,12	6,70	2,709
18	141,44	42,43	30,00	69,39	46,27	5,14	46,27	9,14	2,442
21	130,69	45,74	35,00	75,32	50,22	3,95	50,22	11,19	2,047
24	121,50	48,60	40,00	79,83	53,23	3,01	53,23	12,84	1,647
27	113,56	51,10	45,00	83,26	55,51	2,29	55,51	14,13	1,299
30	106,62	53,31	50,00	85,89	57,26	1,75	57,26	15,16	1,023
33	100,50	55,28	55,00	87,96	58,65	1,38	58,65	15,98	0,822
36	95,07	57,04	60,00	89,68	59,79	1,14	59,79	16,67	0,690
39	90,21	58,64	65,00	91,19	60,80	1,01	60,80	17,28	0,615
42	85,84	60,09	70,00	92,61	61,75	0,95	61,75	17,87	0,582
45	81,00	61,31	75,00	94,00	62,67	0,93	62,67	18,44	0,576
48	76,70	62,34	80,00	95,38	63,59	0,92	63,59	19,02	0,578
51	72,91	63,16	85,00	96,73	64,49	0,90	64,49	19,59	0,570
54	69,60	63,77	90,00	97,98	65,33	0,84	65,33	20,12	0,533
57	66,77	64,17	95,00	99,03	66,02	0,70	66,02	20,57	0,447
60	64,37	64,37	100,00	99,71	66,48	0,45	66,48	20,86	0,293



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
3	0,21	0,070	3,06
6	0,43	0,378	16,60
9	0,64	0,742	32,60
12	0,86	0,961	42,23
15	1,07	0,991	43,57
18	1,29	0,886	38,92
21	1,50	0,716	31,48
24	1,71	0,539	23,67
27	1,93	0,383	16,83
30	2,14	0,261	11,46
33	2,36	0,171	7,53
36	2,57	0,109	4,80
39	2,79	0,068	2,99
42	3,00	0,041	1,82
45	3,21	0,025	1,09
48	3,43	0,015	0,64
51	3,64	0,009	0,37
54	3,86	0,005	0,21
57	4,07	0,003	0,12
60	4,29	0,002	0,07

Processo de convolução

Pe (cm):	0,00	0,00	0,14	0,26	0,27	0,24	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03
0	0,00																			
3	0,00	0,00																		
6	0,00	0,00	0,00																	
9	0,00	0,00	0,00	0,00																
12	0,00	0,00	0,01	0,43	0,00															
15	0,00	0,00	0,01	2,34	0,79	0,00														
18	0,00	0,00	0,02	4,60	4,28	0,83	0,00													
21	0,00	0,00	0,02	5,96	8,40	4,50	0,75	0,00												
24	0,00	0,00	0,01	6,15	10,88	8,83	4,05	0,63	0,00											
27	0,00	0,00	0,01	5,49	11,23	11,44	7,96	3,40	0,50	0,00										
30	0,00	0,00	0,01	4,44	10,03	11,80	10,31	6,67	2,73	0,40	0,00									
33	0,00	0,00	0,01	3,34	8,11	10,54	10,64	8,64	5,37	2,16	0,31	0,00								
36	0,00	0,00	0,00	2,37	6,10	8,53	9,50	8,92	6,96	4,23	1,70	0,25	0,00							
39	0,00	0,00	0,00	1,62	4,34	6,41	7,69	7,97	7,18	5,49	3,33	1,36	0,21	0,00						
42	0,00	0,00	0,00	1,06	2,95	4,56	5,78	6,44	6,41	5,66	4,32	2,68	1,15	0,19	0,00					
45	0,00	0,00	0,00	0,68	1,94	3,10	4,11	4,84	5,18	5,06	4,46	3,47	2,25	1,02	0,18	0,00				
48	0,00	0,00	0,00	0,42	1,24	2,04	2,80	3,45	3,90	4,09	3,98	3,58	2,91	2,00	0,97	0,18	0,00			
51	0,00	0,00	0,00	0,26	0,77	1,30	1,84	2,35	2,77	3,07	3,22	3,20	3,01	2,60	1,90	0,96	0,18	0,00		
54	0,00	0,00	0,00		0,47	0,81	1,17	1,54	1,89	2,19	2,42	2,59	2,68	2,68	2,46	1,88	0,96	0,17	0,00	
57	0,00	0,00	0,00		0,49	0,73	0,98	1,24	1,49	1,72	1,95	2,17	2,39	2,54	2,43	1,88	0,95	0,16	0,00	
60	0,00	0,00	0,00		0,45	0,61	0,79	0,98	1,17	1,38	1,63	1,94	2,27	2,51	2,44	1,86	0,88	0,14	0,00	
						0,37	0,49	0,62	0,77	0,94	1,16	1,46	1,83	2,24	2,52	2,41	1,74	0,74	0,09	
							0,30	0,39	0,49	0,62	0,79	1,04	1,38	1,81	2,25	2,48	2,25	1,46	0,49	
								0,24	0,31	0,39	0,52	0,70	0,98	1,36	1,82	2,22	2,32	1,89	0,95	
								0,19	0,25	0,33	0,46	0,67	0,97	1,37	1,79	2,07	1,95	1,24		
									0,15	0,21	0,30	0,44	0,66	0,97	1,35	1,68	1,74	1,27		
										0,11	0,18	0,28	0,43	0,66	0,96	1,26	1,41	1,14		
											0,17	0,28	0,43	0,65	0,90	1,06	1,06	0,92		
												0,11	0,17	0,28	0,43	0,61	0,75	0,69		
													0,10	0,17	0,27	0,40	0,51	0,49		
														0,11	0,17	0,26	0,34	0,34		
															0,10	0,16	0,21	0,22		
																0,13	0,14	0,14		
																	0,08	0,09		
																		0,05		

Q2 (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	3	0,05
0,00	6	0,10
0,00	9	0,15
0,44	12	0,20
3,14	15	0,25
9,72	18	0,30
19,62	21	0,35
30,55	24	0,40
40,03	27	0,45
46,40	30	0,50
49,12	33	0,55
48,57	36	0,60
45,59	39	0,65
41,20	42	0,70
36,29	45	0,75
31,55	48	0,80
27,61	51	0,85
23,91	54	0,90
21,13	57	0,95
19,04	60	1,00
17,38	63	1,05
15,74	66	1,10
13,70	69	1,15
11,28	72	1,20
8,26	75	1,25
6,45	78	1,30
4,53	81	1,35
3,04	84	1,40
1,96	87	1,45
1,20	90	1,50
0,70	93	1,55
0,37	96	1,60
0,17	99	1,65
0,08	102	1,70



Figura A16 – Cenário atual - Recorte 3: Aplicação *Huff 1º quartil* combinado com *SCS / H.U.C. de Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para **Tr = 50 anos**.

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	1,39	
CN	79,05	
Comprimento do talvegue/axial L (km)	1,14	
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00	
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00	
Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	12,74	0,21
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C. Mockus aproximado com a função tipo gama

Precipitação unitária P: 1 cm

O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja  $D \leq t_r/5$

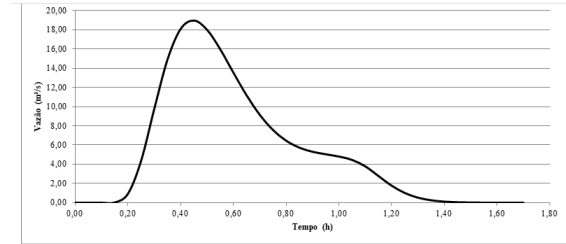
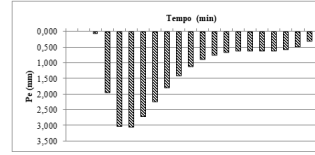
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,04	ou	2,55	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,15	ou	8,92	min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	0,40	ou	23,81	min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	19,46			

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	67,33
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	13,47
0,8*S (mm)	53,86
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
3	245,71	12,19	5,00	3,90	2,60	2,60	2,60	0,00	0,000
6	212,50	21,25	10,00	23,40	15,60	13,00	15,60	0,07	0,066
9	188,56	28,28	15,00	39,16	26,11	10,51	26,11	2,00	1,934
12	169,60	33,92	20,00	51,76	34,51	8,39	34,51	5,01	3,010
15	154,20	38,55	25,00	61,68	41,12	6,62	41,12	8,05	3,043
18	141,44	42,43	30,00	69,39	46,27	5,14	46,27	10,74	2,692
21	130,69	45,74	35,00	75,32	50,22	3,95	50,22	12,98	2,233
24	121,50	48,60	40,00	79,83	53,23	3,01	53,23	14,76	1,785
27	113,56	51,10	45,00	83,26	55,51	2,29	55,51	16,16	1,401
30	106,62	53,31	50,00	85,89	57,26	1,75	57,26	17,26	1,100
33	100,50	55,28	55,00	87,96	58,65	1,38	58,65	18,15	0,882
36	95,07	57,04	60,00	89,68	59,79	1,14	59,79	18,88	0,739
39	90,21	58,64	65,00	91,19	60,80	1,01	60,80	19,54	0,658
42	85,84	60,09	70,00	92,61	61,75	0,95	61,75	20,16	0,622
45	81,90	61,39	75,00	93,96	62,57	0,93	62,57	20,78	0,614
48	78,30	62,64	80,00	95,38	63,59	0,92	63,59	21,39	0,616
51	75,01	63,76	85,00	96,73	64,49	0,90	64,49	22,00	0,607
54	72,00	64,80	90,00	97,98	65,33	0,84	65,33	22,57	0,567
57	69,23	65,77	95,00	99,03	66,02	0,70	66,02	23,04	0,475
60	66,67	66,67	100,00	99,71	66,48	0,45	66,48	23,35	0,311



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,000000	0,000000
3	0,34	0,225204	4,32899
6	0,67	0,783704	15,24757
9	1,01	0,999845	19,45276
12	1,35	0,841676	16,37546
15	1,68	0,564178	10,97651
18	2,02	0,327419	6,37020
21	2,36	0,172030	3,34698
24	2,69	0,084042	1,63510
27	3,03	0,038837	0,75560
30	3,36	0,017177	0,34919
33	3,70	0,007332	0,16266
36	4,04	0,003040	0,05914
39	4,37	0,001229	0,02392
42	4,71	0,000487	0,00947
45	5,05	0,000189	0,00369
48	5,38	0,000073	0,00141
51	5,72	0,000027	0,00053
54	6,06	0,000010	0,00020
57	6,39	0,000004	0,00007
60	6,73	0,000001	0,00003

Processo de convulsão:

Pe (cm):	0,00	0,00	0,01	0,19	0,30	0,30	0,27	0,22	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Q3 (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	3	0,05
0,00	6	0,10
0,03	9	0,15
0,94	12	0,20
4,38	15	0,25
9,78	18	0,30
14,90	21	0,35
18,08	24	0,40
18,95	27	0,45
17,99	30	0,50
15,96	33	0,55
13,53	36	0,60
11,17	39	0,65
9,15	42	0,70
7,58	45	0,75
6,46	48	0,80
5,74	51	0,85
5,31	54	0,90
5,05	57	0,95
4,81	60	1,00
4,45	63	1,05
3,79	66	1,10
2,79	69	1,15
1,78	72	1,20
1,02	75	1,25
0,53	78	1,30
0,26	81	1,35
0,12	84	1,40
0,05	87	1,45
0,00	90	1,50
0,01	93	1,55
0,00	96	1,60
0,00	99	1,65
0,00	102	1,70

Figura A17 – Cenário atual - Recorte 4: Aplicação Huff 1ª quartil combinado com SCS / H.U.C. de Mockus aproximado pela função tipo Gama, para Tr = 50 anos.

**CENÁRIO ATUAL (2014) - RECORTE 4**  
 Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	1,19
CN	79,38
Comprimento do talvegue axial L (km)	1,25
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	808,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	861,00
Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	15,96
	0,27
	min
	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função Gama

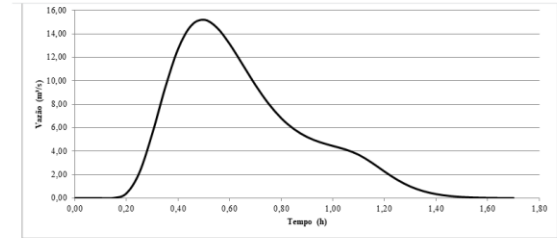
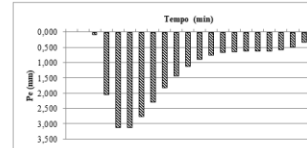
Precipitação unitária P: 1 cm	O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja: $D \leq t_c/5$
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,05
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,19
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	0,50
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	13,29

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	65,97
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	13,19
0,8*S (mm)	52,78
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1ª quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
3	243,71	12,19	5,00	3,90	2,60	2,60	2,60	0,00	0,000
6	212,50	21,25	10,00	23,40	15,60	13,00	15,60	0,08	0,085
9	188,56	28,28	15,00	39,16	26,11	10,51	26,11	2,12	2,031
12	169,60	33,92	20,00	51,76	34,51	8,39	34,51	5,20	3,089
15	154,20	38,55	25,00	61,88	41,12	6,62	41,12	8,31	3,102
18	141,84	42,83	30,00	69,39	46,27	5,14	46,27	11,04	2,737
21	130,69	45,74	35,00	75,32	50,22	3,95	50,22	13,31	2,265
24	121,50	48,60	40,00	79,83	53,23	3,01	53,23	15,12	1,809
27	113,56	51,10	45,00	83,26	55,51	2,29	55,51	16,54	1,419
30	106,62	53,31	50,00	85,89	57,26	1,75	57,26	17,65	1,113
33	100,50	55,28	55,00	87,96	58,65	1,38	58,65	18,54	0,892
36	95,07	57,04	60,00	89,88	59,79	1,14	59,79	19,29	0,748
39	90,21	58,64	65,00	91,19	60,80	1,01	60,80	19,96	0,665
42	85,84	60,09	70,00	92,61	61,75	0,95	61,75	20,58	0,629
45	81,00	61,30	75,00	94,00	62,67	0,93	62,67	21,21	0,621
48	78,30	62,64	80,00	95,38	63,59	0,92	63,59	21,83	0,622
51	75,01	63,76	85,00	96,73	64,49	0,90	64,49	22,44	0,613
54	72,00	64,80	90,00	97,98	65,33	0,84	65,33	23,01	0,573
57	69,23	65,77	95,00	99,03	66,02	0,70	66,02	23,49	0,480
60	66,67	66,67	100,00	99,71	66,48	0,45	66,48	23,81	0,314



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	Utp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,0000	0,0000
3	0,27	0,1275	1,6943
6	0,54	0,5769	7,5867
9	0,81	0,9259	12,3049
12	1,07	0,9909	13,1686
15	1,34	0,8444	11,2218
18	1,61	0,6230	8,2794
21	1,88	0,4161	5,5303
24	2,15	0,2584	3,4347
27	2,42	0,1518	2,0178
30	2,68	0,0854	1,1346
33	2,95	0,0463	0,6157
36	3,22	0,0244	0,3245
39	3,49	0,0126	0,1669
42	3,76	0,0063	0,0840
45	4,03	0,0031	0,0416
48	4,30	0,0015	0,0202
51	4,56	0,0007	0,0097
54	4,83	0,0003	0,0046
57	5,10	0,0002	0,0022
60	5,37	0,0001	0,0010

Processo de convolução

Pe (cm):	0,00	0,00	0,01	0,20	0,31	0,31	0,27	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,06	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,10	1,54	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,11	2,50	2,34	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,09	2,67	3,80	2,35	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,07	2,28	4,07	3,82	2,08	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,05	1,68	3,47	4,09	3,37	1,72	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,03	1,12	2,56	3,48	3,60	2,79	1,37	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,02	0,70	1,71	2,57	3,07	2,98	2,23	1,08	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,01	0,41	1,06	1,72	2,27	2,54	2,38	1,75	0,84	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,01	0,23	0,62	1,07	1,51	1,88	2,03	1,87	1,37	0,68	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,35	0,63	0,94	1,25	1,50	1,59	1,47	1,10	0,57	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,19	0,35	0,55	0,78	1,00	1,17	1,25	1,18	0,92	0,50	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,19	0,31	0,46	0,62	0,78	0,92	1,00	0,98	0,82	0,48	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,10	0,17	0,26	0,37	0,49	0,62	0,74	0,84	0,88	0,77	0,47	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Qd (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	3	0,05
0,00	6	0,10
0,01	9	0,15
0,41	12	0,20
2,17	15	0,25
5,48	18	0,30
9,39	21	0,35
12,69	24	0,40
14,67	27	0,45
15,20	30	0,50
14,54	33	0,55
13,13	36	0,60
11,39	39	0,65
9,63	42	0,70
8,07	45	0,75
6,81	48	0,80
5,87	51	0,85
5,21	54	0,90
4,76	57	0,95
4,45	60	1,00
4,13	63	1,05
3,69	66	1,10
3,03	69	1,15
2,27	72	1,20
1,55	75	1,25
0,99	78	1,30
0,60	81	1,35
0,34	84	1,40
0,19	87	1,45
0,10	90	1,50
0,05	93	1,55
0,02	96	1,60
0,01	99	1,65
0,00	102	1,70











Figura A22 – Cenário urbanização completa - Recorte 3: Aplicação Huff 1º quartil combinado com SCS / H.U.C. de Mockus aproximado pela função tipo Gama, para Tr = 25 anos.

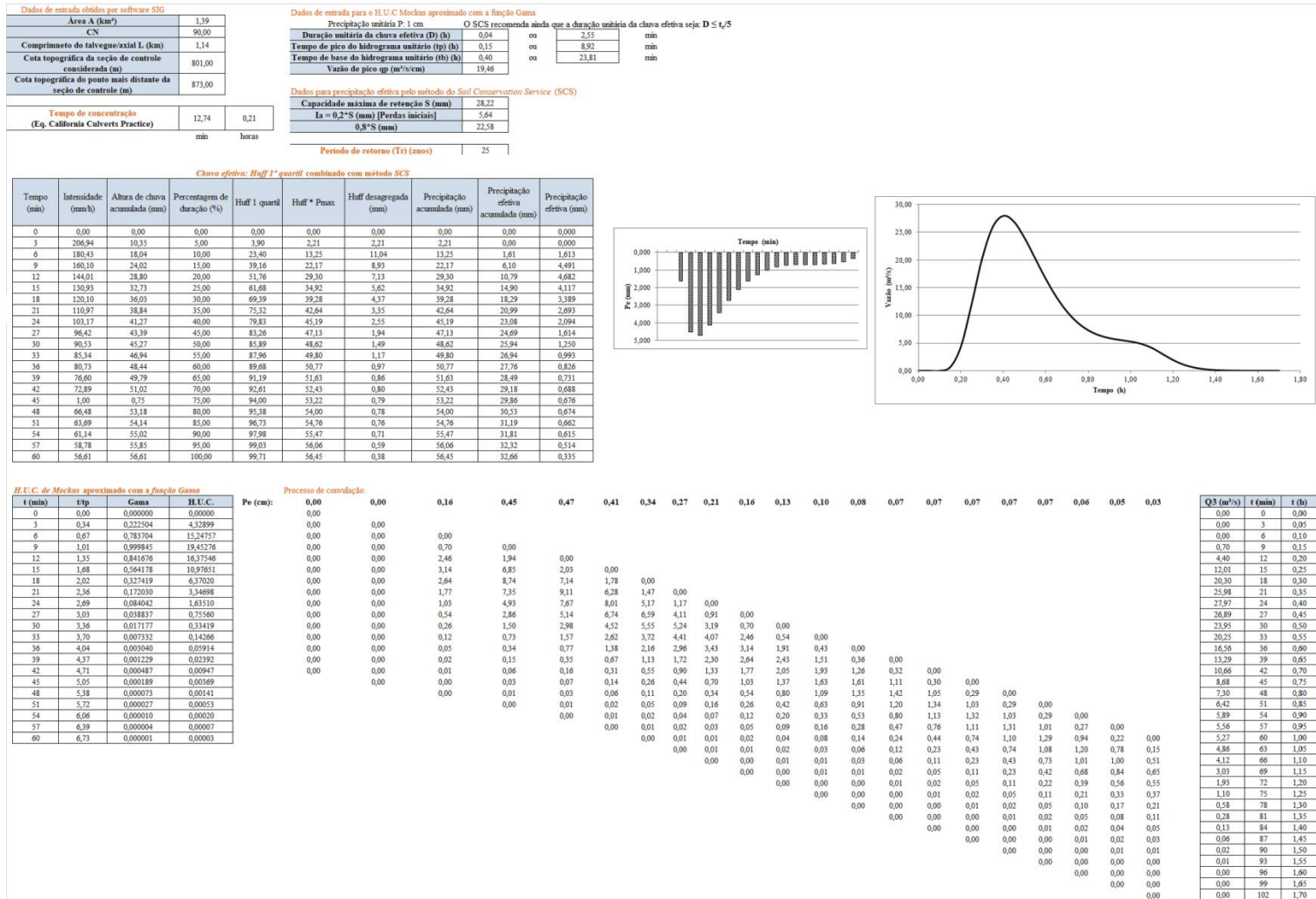


Figura A23 – Cenário urbanização completa - Recorte 3: Aplicação Huff 1º quartil combinado com SCS / H.U.C. de Mockus aproximado pela função tipo Gama, para Tr = 50 anos.

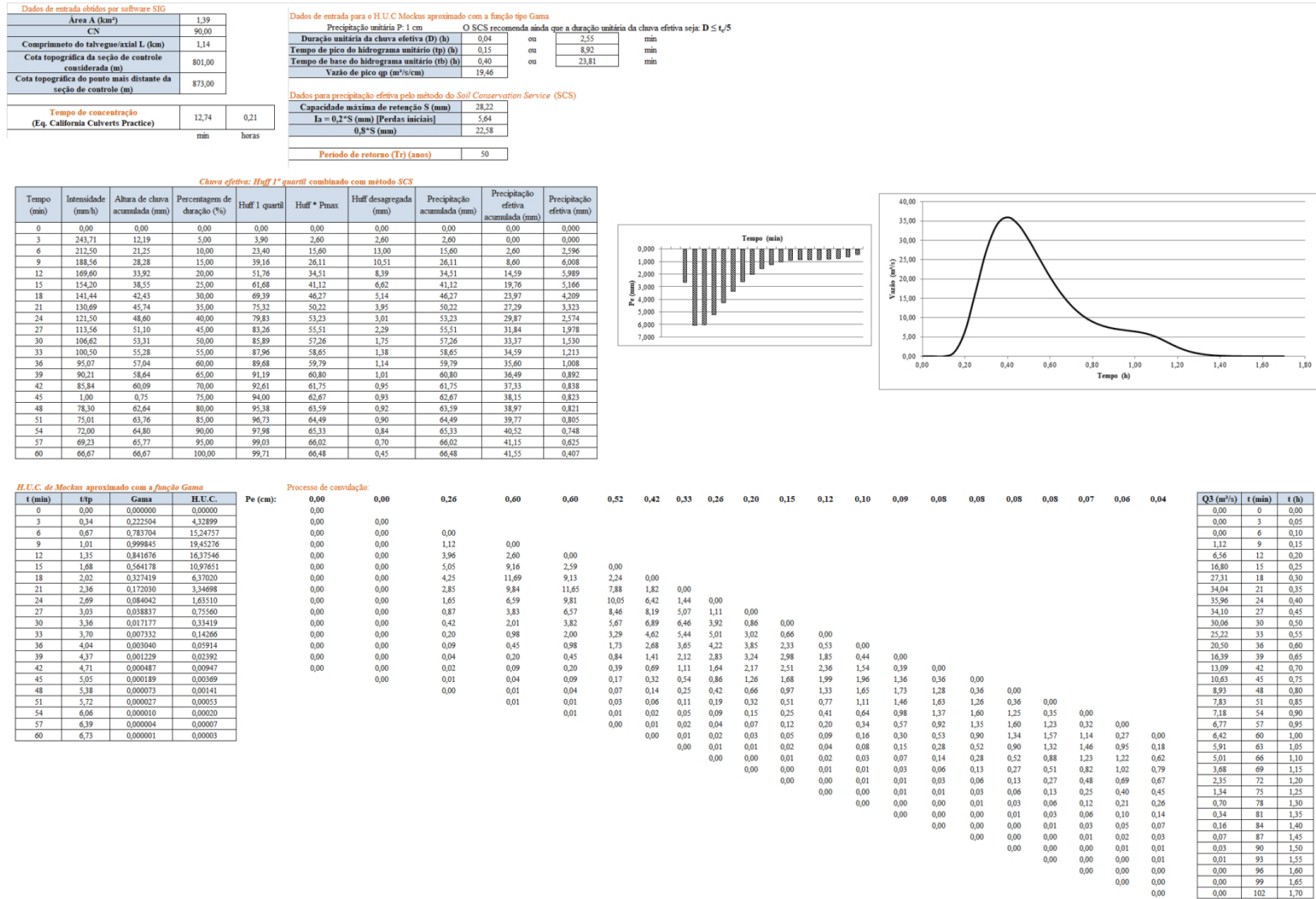










Figura A27 – Cenário Projeto SML (CN médio de 75,6): Aplicação *Huff 1º quartil* combinado com *SCS / H.U.C. de Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para  $Tr = 25$  anos, considerando a bacia completa.

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	11,18
CN	75,57
Comprimento do talvegue/axial L (km)	4,71
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00
Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	65,79 min
	1,10 horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função tipo Gama

Precipitação unitária P: 1 cm O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_p/5$

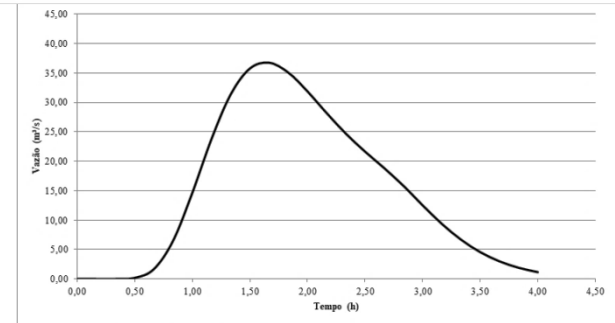
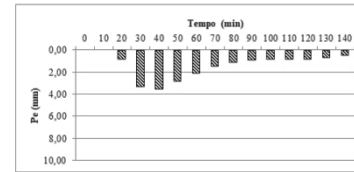
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,22	ou	13,16	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,77	ou	46,05	min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	2,05	ou	122,96	min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	30,30			

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	82,12
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	16,42
0,8*S (mm)	65,70
Período de retorno (Tr) (anos)	25

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	154,34	25,72	7,14	12,75	8,60	8,60	8,60	0,00	0,00
20	113,85	37,95	14,29	37,12	25,03	16,43	25,03	0,82	0,82
30	90,53	45,27	21,43	54,84	36,98	11,95	36,98	4,12	3,30
40	75,32	50,21	28,57	67,39	45,44	8,46	45,44	7,58	3,46
50	64,59	53,83	35,71	76,04	51,28	5,84	51,28	10,38	2,81
60	56,61	56,61	42,86	81,90	55,23	3,95	55,23	12,45	2,07
70	50,43	58,84	50,00	85,89	57,92	2,69	57,92	13,93	1,48
80	45,50	60,67	57,14	88,73	59,84	1,92	59,84	15,01	1,08
90	41,48	62,22	64,29	90,98	61,35	1,52	61,35	15,89	0,88
100	38,12	63,54	71,43	93,01	62,72	1,36	62,72	16,69	0,80
110	35,29	64,69	78,57	94,99	64,05	1,33	64,05	17,48	0,79
120	32,86	65,71	85,71	96,92	65,35	1,30	65,35	18,27	0,79
130	30,75	66,62	92,86	98,61	66,50	1,14	66,50	18,97	0,70
140	28,90	67,43	100,00	99,71	67,24	0,74	67,24	19,42	0,45



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de convolução:

Pe (cm):	0,00	0,00	0,08	0,33	0,35	0,28	0,21	0,15	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05
0,00	0,00														
0,00	0,00	0,00													
0,00	0,00	0,00	0,00												
0,00	0,00	0,00	0,18	0,00											
0,00	0,00	0,00	0,96	0,72	0,00										
0,00	0,00	0,00	1,86	3,88	0,76	0,00									
0,00	0,00	0,00	2,39	7,54	4,07	0,61	0,00								
0,00	0,00	0,00	2,44	9,67	7,90	3,30	0,45	0,00							
0,00	0,00	0,00	2,16	9,87	10,14	6,41	2,43	0,32	0,00						
0,00	0,00	0,00	1,73	8,73	10,36	8,23	4,72	1,73	0,24	0,00					
0,00	0,00	0,00	1,29	6,99	9,16	8,40	6,06	3,37	1,27	0,19	0,00				
0,00	0,00	0,00	0,91	5,20	7,33	7,43	6,19	4,32	2,48	1,03	0,18	0,00			
0,00	0,00	0,00	0,61	3,66	5,46	5,95	5,47	4,42	3,18	2,00	0,94	0,17	0,00		
0,00	0,00	0,00	0,40	2,47	3,84	4,43	4,38	3,90	3,25	2,57	1,83	0,93	0,17	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,25	1,61	2,59	3,12	3,26	3,13	2,87	2,62	2,35	1,81	0,92	0,15	0,00
0,00	0,00	0,00	0,15	1,01	1,68	2,10	2,30	2,33	2,30	2,32	2,40	2,33	1,79	0,82	0,10
0,00	0,00	0,00	0,09	0,63	1,06	1,37	1,55	1,64	1,71	1,86	2,12	2,38	2,30	1,60	0,53
				0,38	0,66	0,86	1,01	1,10	1,20	1,38	1,70	2,10	2,35	2,05	1,04
					0,40	0,53	0,64	0,72	0,81	0,97	1,26	1,68	2,08	2,09	1,33
						0,32	0,39	0,45	0,53	0,66	0,89	1,25	1,66	1,85	1,36
							0,24	0,28	0,33	0,43	0,60	0,88	1,24	1,48	1,20
								0,17	0,21	0,27	0,39	0,59	0,87	1,10	0,96
									0,12	0,17	0,25	0,39	0,59	0,78	0,72
										0,10	0,15	0,24	0,38	0,52	0,50
											0,09	0,15	0,24	0,34	0,34
												0,09	0,15	0,21	0,22
													0,09	0,13	0,14
														0,08	0,09
															0,05
															0,05

Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0	0,00
0,00	10	0,17
0,00	20	0,33
0,18	30	0,50
1,68	40	0,67
6,50	50	0,83
14,61	60	1,00
23,77	70	1,17
31,34	80	1,33
35,74	90	1,50
36,74	100	1,67
35,07	110	1,83
31,87	120	2,00
28,17	130	2,17
24,68	140	2,33
21,63	150	2,50
18,83	160	2,67
15,83	170	2,83
12,51	180	3,00
9,36	190	3,17
6,68	200	3,33
4,56	210	3,50
3,00	220	3,67
1,91	230	3,83
1,16	240	4,00



Figura A28 – Cenário Projeto SML (CN médio de 75,6): Aplicação *Huff 1º quartil* combinado com SCS / H.U.C. de *Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para  $Tr = 50$  anos, considerando a bacia completa.

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	11,18
CN	75,57
Comprimento do talvegue/axial L (km)	4,71
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00

Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)

	65,79	1,10
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função tipo Gama

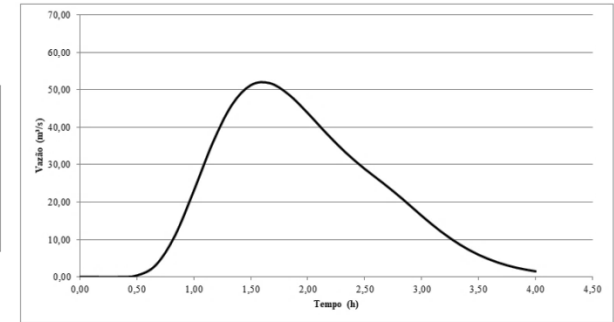
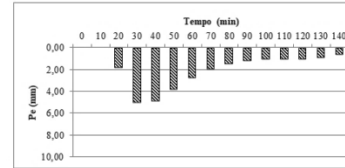
Precipitação unitária P: 1 cm	O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja: $D \leq t_p/5$
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,22 ou 13,16 min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,77 ou 46,05 min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	2,05 ou 122,96 min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	30,30

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	82,12
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	16,42
0,8*S (mm)	65,70
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	181,77	30,29	7,14	12,75	10,13	10,13	10,13	0,00	0,00
20	134,08	44,69	14,29	37,12	29,48	19,35	29,48	1,79	1,79
30	106,62	53,31	21,43	54,84	43,55	14,08	43,55	6,74	4,95
40	88,71	59,14	28,57	67,39	53,52	9,96	53,52	11,54	4,80
50	76,07	63,40	35,71	76,04	60,39	6,87	60,39	15,33	3,79
60	66,67	66,67	42,86	81,90	65,05	4,66	65,05	18,08	2,75
70	59,40	69,30	50,00	85,89	68,21	3,17	68,21	20,03	1,95
80	53,59	71,45	57,14	88,73	70,47	2,26	70,47	21,45	1,42
90	48,85	73,27	64,29	90,98	72,26	1,79	72,26	22,60	1,15
100	44,90	74,83	71,43	93,01	73,87	1,61	73,87	23,64	1,04
110	41,56	76,19	78,57	94,99	75,44	1,57	75,44	24,67	1,03
120	38,70	77,39	85,71	96,92	76,97	1,53	76,97	25,69	1,02
130	36,21	78,46	92,86	98,61	78,32	1,35	78,32	26,60	0,90
140	34,04	79,42	100,00	99,71	79,18	0,87	79,18	27,19	0,59



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de convolução

Pe (cm):	0,00	0,00	0,18	0,49	0,48	0,38	0,28	0,19	0,14	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06	Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0,00															0,00	0	0,00
0,00	0,00															0,00	10	0,17
0,00	0,00															0,00	20	0,33
0,00	0,00															0,39	30	0,50
0,00	0,00															3,19	40	0,67
0,00	0,00															10,95	50	0,83
0,00	0,00															23,02	60	1,00
0,00	0,00															35,88	70	1,17
0,00	0,00															45,93	80	1,33
0,00	0,00															51,25	90	1,50
0,00	0,00															51,79	100	1,67
0,00	0,00															48,76	110	1,83
0,00	0,00															43,79	120	2,00
0,00	0,00															38,31	130	2,17
0,00	0,00															33,24	140	2,33
0,00	0,00															28,88	150	2,50
0,00	0,00															24,96	160	2,67
0,00	0,00															20,82	170	2,83
0,00	0,00															16,36	180	3,00
0,00	0,00															12,21	190	3,17
0,00	0,00															8,69	200	3,33
0,00	0,00															5,93	210	3,50
0,00	0,00															3,90	220	3,67
0,00	0,00															2,47	230	3,83
0,00	0,00															1,51	240	4,00
0,00	0,00															0,88		
0,00	0,00															0,47		
0,00	0,00															0,21		
0,00	0,00															0,07		





Figura A31 – Cenário urbanização completa (CN médio de 90,0): Aplicação *Huff 1º quartil* combinado com *SCS / H.U.C.* de *Mockus* aproximado pela *função tipo Gama*, para  $Tr = 50$  anos, considerando a bacia completa.

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	11,18
CN	90,00
Comprimento do talvegue/axial L (km)	4,71
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00

Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	65,79	1,10
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função tipo Gama

Precipitação unitária P: 1 cm

O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_r/5$

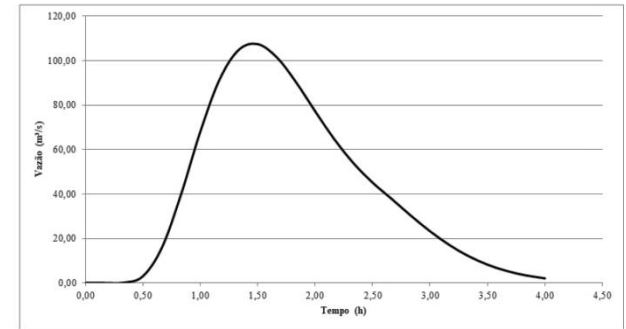
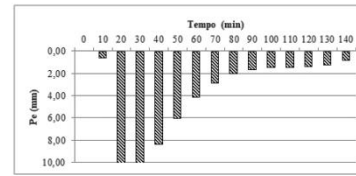
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,22	ou	13,16	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,77	ou	46,05	min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	2,05	ou	122,96	min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	30,30			

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	28,22
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	5,64
0,8*S (mm)	22,58
Período de retorno (Tr) (anos)	50

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1º quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	181,77	30,29	7,14	12,75	10,13	10,13	10,13	0,61	0,61
20	134,08	44,69	14,29	37,12	29,48	19,35	29,48	10,91	10,30
30	106,62	53,31	21,43	54,84	43,55	14,08	43,55	21,73	10,82
40	88,71	59,14	28,57	67,39	53,52	9,96	53,52	30,12	8,39
50	76,07	63,40	35,71	76,04	60,39	6,87	60,39	36,12	6,01
60	66,67	66,67	42,86	81,90	65,05	4,66	65,05	40,27	4,15
70	59,40	69,30	50,00	85,89	68,21	3,17	68,21	43,12	2,85
80	53,59	71,45	57,14	88,73	70,47	2,26	70,47	45,16	2,05
90	48,85	73,27	64,29	90,98	72,26	1,79	72,26	46,79	1,63
100	44,90	74,83	71,43	93,01	73,87	1,61	73,87	48,26	1,47
110	41,56	76,19	78,57	94,99	75,44	1,57	75,44	49,70	1,44
120	38,70	77,39	85,71	96,92	76,97	1,53	76,97	51,10	1,41
130	36,21	78,46	92,86	98,61	78,32	1,35	78,32	52,34	1,24
140	34,04	79,42	100,00	99,71	79,18	0,87	79,18	53,15	0,80



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de conulação:

Pe (cm):	0,00	0,06	1,03	1,08	0,84	0,60	0,41	0,28	0,20	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,08	Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	0,17
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20	0,33
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,98	30	0,50
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	40	0,67
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,87	50	0,83
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,90	60	1,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,27	70	1,17
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,72	80	1,33
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,38	90	1,50
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101,43	100	1,67
110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,29	110	1,83
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	120	2,00
130	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,65	130	2,17
140	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,87	140	2,33
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,12	150	2,50
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83	160	2,67
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,63	170	2,83
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71	180	3,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,28	190	3,17
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	200	3,33
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	210	3,50
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	220	3,67
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	230	3,83
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	240	4,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38		1,20
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24		0,64
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14		0,29
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09		0,09





Figura A33 – Cenário Atual (CN médio de 79,5): Aplicação Huff 1º quartil combinado com SCS / H.U.C. de Mockus aproximado pela função tipo Gama, para Tr = 25 anos, considerando a bacia completa.

Dados de entrada obtidos por software SIG

Área A (km²)	11,18
CN	79,47
Comprimento do talvegue/axial L (km)	4,71
Cota topográfica da seção de controle considerada (m)	801,00
Cota topográfica do ponto mais distante da seção de controle (m)	873,00

Tempo de concentração (Eq. California Culverts Practice)	65,79	1,10
	min	horas

Dados de entrada para o H.U.C Mockus aproximado com a função tipo Gama

Precipitação unitária P: 1 cm O SCS recomenda ainda que a duração unitária da chuva efetiva seja:  $D \leq t_p/5$

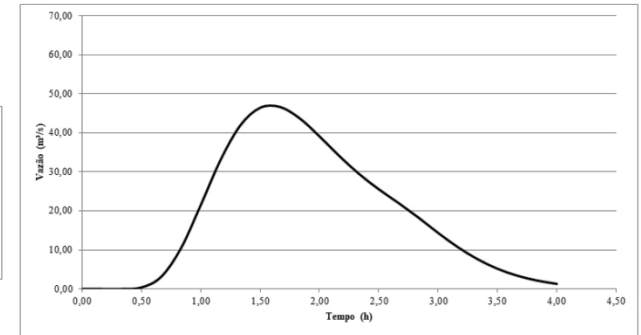
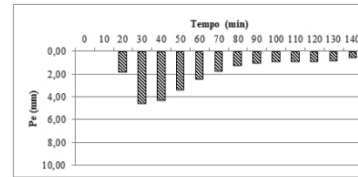
Duração unitária da chuva efetiva (D) (h)	0,22	ou	13,16	min
Tempo de pico do hidrograma unitário (tp) (h)	0,77	ou	46,05	min
Tempo de base do hidrograma unitário (tb) (h)	2,05	ou	122,96	min
Vazão de pico qp (m³/s/cm)	30,30			

Dados para precipitação efetiva pelo método do Soil Conservation Service (SCS)

Capacidade máxima de retenção S (mm)	65,63
Ia = 0,2*S (mm) [Perdas iniciais]	13,13
0,8*S (mm)	52,50
Período de retorno (Tr) (anos)	25

Chuva efetiva: Huff 1º quartil combinado com método SCS

Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	Altura de chuva acumulada (mm)	Porcentagem de duração (%)	Huff 1 quartil	Huff * Pmax	Huff desagregada (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação efetiva acumulada (mm)	Precipitação efetiva (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	154,34	25,72	7,14	12,75	8,60	8,60	8,60	0,00	0,00
20	113,85	37,95	14,29	37,12	25,03	16,43	25,03	1,83	1,83
30	90,53	45,27	21,43	54,84	36,98	11,95	36,98	6,36	4,53
40	75,32	50,21	28,57	67,39	45,44	8,46	45,44	10,66	4,30
50	64,59	53,83	35,71	76,04	51,28	5,84	51,28	14,02	3,36
60	56,61	56,61	42,86	81,90	55,23	3,95	55,23	16,45	2,43
70	50,43	58,84	50,00	85,89	57,92	2,69	57,92	18,17	1,71
80	45,50	60,67	57,14	88,73	59,84	1,92	59,84	19,42	1,25
90	41,48	62,22	64,29	90,98	61,35	1,52	61,35	20,43	1,01
100	38,12	63,54	71,43	93,01	62,72	1,36	62,72	21,35	0,92
110	35,29	64,69	78,57	94,99	64,05	1,33	64,05	22,25	0,91
120	32,86	65,71	85,71	96,92	65,35	1,30	65,35	23,15	0,89
130	30,75	66,62	92,86	98,61	66,50	1,14	66,50	23,94	0,79
140	28,90	67,43	100,00	99,71	67,24	0,74	67,24	24,45	0,51



H.U.C. de Mockus aproximado com a função Gama

t (min)	t/tp	Gama	H.U.C.
0	0,00	0,00	0,00
10	0,22	0,07	2,19
20	0,43	0,39	11,75
30	0,65	0,75	22,84
40	0,87	0,97	29,30
50	1,09	0,99	29,93
60	1,30	0,87	26,47
70	1,52	0,70	21,19
80	1,74	0,52	15,77
90	1,95	0,37	11,11
100	2,17	0,25	7,49
110	2,39	0,16	4,87
120	2,61	0,10	3,08
130	2,82	0,06	1,90
140	3,04	0,04	1,14

Processo de convulsão:

Pe (cm):	0,00	0,00	0,18	0,45	0,43	0,34	0,24	0,17	0,13	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,05	Q (m³/s)	t (min)	t (h)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	0,17
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20	0,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	30	0,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,14	40	0,67
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,44	50	0,83
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,50	60	1,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,06	70	1,17
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,92	80	1,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,44	90	1,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,67	100	1,67
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,74	110	1,83
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,12	120	2,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,10	130	2,17
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,50	140	2,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,56	150	2,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,03	160	2,67
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,33	170	2,83
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,38	180	3,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71	190	3,17
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	200	3,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	210	3,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	220	3,67
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	230	3,83
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	240	4,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06		

