

**RICARDO CECERE ROMERO VARGAS**

**Influência de Estudos Hidrológicos na Vazão de Projeto de Pequenas Obras  
Hidráulicas – Estudo de Caso da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos  
- SP**

**São Carlos – SP**

**2014**

**RICARDO CECERE ROMERO VARGAS**

**Influência de Estudos Hidrológicos na Vazão de Projeto de Pequenas Obras  
Hidráulicas – Estudo de Caso da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos  
- SP**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

Trabalho de Graduação em Engenharia  
Ambiental apresentado à Escola de Engenharia de  
São Carlos da Universidade de São Paulo

**São Carlos – SP**

**2014**

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

297i Cecere Romero Vargas, Ricardo  
Influência de Estudos Hidrológicos na Vazão de  
Projeto de Pequenas Obras Hidráulicas - Estudo de Caso  
da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos - SP /  
Ricardo Cecere Romero Vargas; orientador Frederico  
Favio Mauad. São Carlos, .

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

1. outorga. 2. I-Pai-Wu modificado. 3. SCS. 4.  
Vazão de projeto. 5. modelação hidrológica. I. Título.

# FOLHA DE JUGAMENTO

---

Candidato(a): **Ricardo Cecere Romero Vargas**

Título da Monografia: **Influência de Estudos Hidrológicos na Viabilidade Ambiental de Pequenas Obras Hidráulicas – Estudo de Caso da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos - SP**

Data da Defesa: 17/06/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad (Orientador(a))**

Aprovado

**Prof. Dr. João Luiz Boccia Brandão**

Aprovado

**M.Sc. Engenheiro Ambiental André Aukar Britschgy de Camargo**

Aprovado

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

## **Agradecimentos**

A todos que estiveram ao meu lado durante essa jornada.

A meus amigos e família.

## Resumo

VARGAS, R. C. R. **Influência de Estudos Hidrológicos na Vazão de Projeto de Pequenas Obras Hidráulicas – Estudo de Caso da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP.** 2014. 63 p. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A Lei nº 9.433 de 1997 determina que dependem de outorga a derivação ou captação de parcela de água de um corpo d'água, a extração de águas de aquífero subterrâneo sejam elas para consumo final ou insumo no processo produtivo, lançamento em corpos hídricos, aproveitamento hidrelétrico e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade do recurso hídrico. Nesse âmbito o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), órgão com poder outorgante no estado de São Paulo, editou uma série de normas e recomendações para outorgas. O presente trabalho tem como objetivo de avaliar a vazão de projeto de pequenas obras hidráulicas através da comparação de resultados obtidos por metodologias fixadas pelo órgão ambiental outorgante do Estado de São Paulo. A vazão de projeto é principal parâmetro de projeto segundo normas e recomendações do órgão responsável no estado de São Paulo. Para tal foram desenvolvidos diferentes estudos hidrológicos, utilizando os métodos I-Pai-Wu e *Soil Conservation Service* (SCS), além do auxílio dos softwares ABC6 e ABC-DAEE. Para compor o estudo de caso, os valores obtidos foram comparados com outros resultados para a área adotada no estudo. A microbacia do Córrego do Gregório apresenta extenso histórico de pesquisas e encontra-se parcialmente urbanizada, com a vertente de ocupação avançando sob a região das cabeceiras. As condições de uso e ocupação do solo nessa área são recorrentes a outros municípios no estado de São Paulo. O resultado obtido evidenciou a necessidade de normas mais restritivas para resultados mais precisos e conseqüentemente melhor funcionamento do sistema, evitando embates desnecessários de ambas as partes, empreendedor e poder público.

**Palavras-chave:** outorga, I-Pai-Wu modificado, SCS, modelação hidrológica, vazão de projeto.

## Lista de Figuras

Figura 1- Evolução do número de Outorgas ao longo dos anos. _____	8
Figura 2 – Diagrama das metodologias adotadas para estimativa de vazão. _____	9
Figura 3 – Diagramas esquemáticos de uma representação de um sistema real por um modelo. _____	11
Figura 4 - Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K). _____	14
Figura 5 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Gregório no município de São Carlos. _____	24
Figura 6 – Pirâmide etária da bacia hidrográfica do Córrego do Gregório. _____	25
Figura 7 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. _____	26
Figura 8 – Delimitação da área de estudo sobreposta à imagem de satélite. _____	27
Figura 9 - Dados obtidos junto ao CDCC. _____	29
Figura 10 – Sub-bacias hidrográficas na área de estudo _____	30
Figura 11 – Uso e ocupação do solo na área de estudo. _____	36
Figura 12 - Faixas de valor de $C_2$ para a área de estudo _____	38
Figura 13 - Faixas de valor de CN para a área de estudo _____	39
Figura 14 – Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 1. _____	43
Figura 15 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 2. _____	43
Figura 16 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 3. _____	44
Figura 17 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 4. _____	44
Figura 18 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 5. _____	45
Figura 19 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 6. _____	45
Figura 20 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 7. _____	46
Figura 21 – Hidrograma da Avaliação 2 _____	49
Figura 22 – Hidrograma do Avaliação 3. _____	50
Figura 23 – Hidrograma do Avaliação 4. _____	51

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento superficial direto. ....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 2 – Grupos de solos para o parâmetro CN. ....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 3 – Condições de umidade do solo para o parâmetro CN. ....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4 - Parâmetros de entrada nos softwares ABC para as metodologias adotadas. ....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 5 - Resumo das Avaliações.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 6 – Valores mínimos para Tempo de Retorno.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 7 – Valores mínimos para coeficiente/parâmetros de escoamento superficial. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 8 – Área e porcentagem correspondente às classes de uso e ocupação do solo. ....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 9 – Valor de C<sub>2</sub> adotados para cada sub-bacia.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 10 – Área, porcentagem relativa a cada classe de uso e ocupação do solo e o valor de C<sub>2</sub> equivalente a cada sub-bacia adotada. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 11 – CN equivalente para cada sub-bacia adotada. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 12 – Diferentes uso e ocupação do solo para a classe “Área Urbana” e lotes médios para as sub-bacias adotadas.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 13 - Valores percentuais de AIDC, AINC e AP. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 14 – Porcentagem de AIDC, AINC e AP para as sub-bacias adotadas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 15 – Comprimento do talvegue e declividade equivalente das áreas adotadas.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 16 – Tempo de Concentração, em minutos, para as sub-bacias adotadas.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 17 - Valores adotados nas Avaliações 2, 3 e 4. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 18 – Valores de vazão de projeto analisados.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 19 - Valores de CN para áreas urbanas .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 20 - Valores de CN para áreas agrícolas.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 21 - Valores de CN para outros tipos de áreas agrícolas .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 22 - Valores de CN para regiões áridas e semiáridas.....</i>	<i>68</i>



## Lista de Símbolos

- A: Área da bacia contribuinte
- AIDC: Área Impermeável Diretamente Conectada (%)
- AINC: Área Impermeável Não Conectada (%)
- AP: Área Permeável (%)
- C: Coeficiente de escoamento superficial ou Run-Off (adimensional)
- C<sub>1</sub>: Coeficiente de forma da bacia (adimensional)
- C<sub>2</sub>: Coeficiente volumétricos de escoamento (adimensional)
- CN: parâmetro *Curve Number*
- CN(I): CN para condição de umidade I
- CN(II): CN para condição de umidade II
- CN(III): CN para condição de umidade III
- F: Fator de forma (adimensional)
- i: Intensidade de chuva (mm/h)
- I<sub>a</sub>: perdas iniciais por retenção da chuva na bacia (mm)
- I<sub>eq</sub>: Declividade equivalente (m/km)
- j<sub>n</sub> = Declividade de cada trecho do talvegue (m/km)
- K: coeficiente de distribuição espacial da chuva
- L: Comprimento do talvegue do curso d'água (km)
- L<sub>n</sub> = Comprimento de cada trecho do talvegue (km)
- P - precipitação total (mm)
- P<sub>E</sub> - precipitação efetiva (mm)
- Q<sub>p</sub>: Vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s)
- S: potencial de retenção do solo, após início do escoamento superficial (mm)
- t: duração da chuva (min)
- t<sub>c</sub>: tempo de concentração (min)
- T<sub>R</sub>: Tempo de retorno (anos).

## Lista de Siglas

ABC6: Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas, Versão: 6

ABC-DAEE: Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas, Versão:DAEE

ANA: Agência Nacional de Águas

CAD: *Computer Aided Design*

CDCC: Centro de Divulgação Científica e Cultural

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

DPO: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização

EESC: Escola de Engenharia de São Carlos

EUA: Estados Unidos da América

HEC: *Hydrologic Engineering Center*

HMS: *Hydrologic Modeling System*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Jd: Jardim

LabSid: Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões

PNRH: Política Nacional de Recurso Hídricos

RAS: *River Analysis System*

SCS: *Soil Conservation Service*

SISNAMA: Sistema Nacional de Meio Ambiente

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SIGREH: Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SIGRH: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SP: São Paulo

SSD ABC: Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas

SWMM: *Storm Water Management Model*

UGRH: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

USP: Universidade de São Paulo

## Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivo.....	3
<b>2.1.</b>	<b>OBJETIVO SECUNDÁRIO.....</b>	<b>3</b>
3.	Revisão Bibliográfica.....	4
<b>3.1.</b>	<b>LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....</b>	<b>4</b>
3.1.1.	HISTÓRICO.....	4
3.1.2.	OUTORGA.....	7
<b>3.2.</b>	<b>GUIA PRÁTICO PARA PROJETOS DE PEQUENAS OBRAS HIDRÁULICAS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3.</b>	<b>MODELOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>10</b>
3.3.1.	MÉTODO I PAI WU MODIFICADO.....	11
3.3.2.	MÉTODO SCS.....	15
3.3.3.	SOFTWARES PARA MODELAÇÃO HIDROLÓGICA.....	19
<b>3.4.</b>	<b>SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5.</b>	<b>MICROBACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO.....</b>	<b>21</b>
3.5.1.	TRABALHOS REALIZADOS NA ÁREA.....	21
4.	Materiais e Métodos.....	23
<b>4.1.</b>	<b>MODELOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.</b>	<b>DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.</b>	<b>DADOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4.</b>	<b>DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS.....</b>	<b>29</b>
4.4.1.	TALVEGUE.....	30
<b>4.5.</b>	<b>TEMPO DE RETORNO (<math>T_R</math>).....</b>	<b>31</b>
<b>4.6.</b>	<b>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>4.7.</b>	<b>INTENSIDADE DA CHUVA DE PROJETO.....</b>	<b>33</b>
<b>4.8.</b>	<b>ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.9.</b>	<b>USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....</b>	<b>34</b>
4.9.1.	I-PAI-WU.....	37
4.9.2.	SCS.....	38
5.	Resultados e discussão.....	42
<b>5.1.</b>	<b>TALVEGUE.....</b>	<b>42</b>

<b>5.2.</b>	<b>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3.</b>	<b>INTENSIDADE DA CHUVA DE PROJETO.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4.</b>	<b>AVALIAÇÕES .....</b>	<b>47</b>
5.4.1.	AVALIAÇÃO 1.....	47
5.4.2.	AVALIAÇÃO 2.....	48
5.4.3.	AVALIAÇÃO 3.....	50
5.4.4.	AVALIAÇÃO 4.....	50
5.4.5.	OUTROS RESULTADOS PARA A ÁREA.....	51
<b>6.</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b>Referência Bibliográficas .....</b>	<b>56</b>
ANEXO A – Valores de CN para diferentes tipos de uso do solo (USDA, 1986 apud Decina, 2012).....		62

## 1. Introdução

Com a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos pela Lei nº 9.433 de janeiro de 1997 ampliou-se a abrangência da figura da outorga, ato administrativo pelo qual o poder público faculta o direito de uso de recursos hídricos. Tal medida visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

Segundo a Lei nº 9.433/1997 dependem de outorga a derivação ou captação de parcela de água de um corpo d'água, a extração de águas de aquífero subterrâneo sejam elas para consumo final ou insumo no processo produtivo, lançamento em corpos hídricos, aproveitamento hidrelétrico e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade do recurso hídrico.

No âmbito do estado de São Paulo cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) o poder outorgante sobre os recursos hídricos conforme redação do artigo 7º das disposições transitórias da Lei 7.663/1991. Deste modo o DAEE disponibiliza em seu sítio eletrônico o “Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas” com orientações técnicas sobre os estudos necessários no encaminhamento de requerimentos de outorga.

Segundo normas do órgão ambiental outorgante do Estado de São Paulo, a vazão de projeto é o principal parâmetro de projeto para Pequenas Obras Hidráulicas, sendo um dos principais critérios avaliados no ato de outorgar. Existem diversas metodologias para a modelação hidrológica baseadas em séries históricas, modelos estatísticos entre outros. Para esse estudo, adotaram-se duas metodologias, método I-Pai-Wu e método Soil Conservation System (SCS), ambos métodos determinísticos.

A adoção de valores imprecisos da vazão projeto geram projetos equivocados, sejam subdimensionados, com riscos de rompimento, queda e danos físicos na obra, ou superdimensionamento, com alto custo construtivo e estruturas inutilizadas ou com mau funcionamento.

Para tal adotou-se a microbacia do Córrego do Gregório tendo em vista o extenso histórico de modelação hidrológica da região. Tais pesquisas serviram como base para avaliar os diferentes métodos adotados, analisando-se o valor da vazão de projeto para os métodos adotados em

comparação com modelos mais precisos, e conseqüentemente avaliar a sua interferência na viabilidade ambiental de pequenas obra hidráulicas. Ressalta-se que as características de uso e ocupação do solo será o mesmo em todos os modelos possibilitando a comparação.

## 2. Objetivo

Avaliar a influência das metodologias adotadas em estudos hidrológicos na vazão de projeto de pequenas obras hidráulicas, o principal parâmetro utilizado no dimensionamento das mesmas. Nesse contexto, este trabalho propõe a utilização de diferentes metodologias hidrológicas a fim de se analisar a influência das mesmas na viabilidade ambiental de pequenas obras hidráulicas, através da comparação entre as diferentes vazões de projeto obtidas.

### 2.1. Objetivo secundário

Avaliar se existem diferenças nos resultados gerados entre os softwares ABC6 e ABC-DAEE, ambos desenvolvidos pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões, LabSid, vinculado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1. Legislação Ambiental

##### 3.1.1. Histórico

Para Farias (2009) a história da legislação ambiental no Brasil pode ser dividida em três fases ou momentos distintos: fase fragmentária, fase setorial e fase holística. A fase fragmentária se estende do descobrimento do Brasil ao início do século XX, este período apresenta uma legislação com um viés econômico. A fase setorial é marcada pela difusão mundial do pensamento ambiental e a fase holística pela ótica integrada do meio ambiente.

##### Fase Fragmentária

Segundo Farias (2009) a primeira fase que se estende do descobrimento do Brasil aos primeiros anos do século XX não há preocupação com o meio ambiente, sendo os únicos dispositivos de proteção encontrados apresentam forte caráter econômico.

A exceção é o Código Penal de 1890, em seu texto é presente dispositivo acerca da proteção das águas, em específico o Art. 162 determinava prisão celular a quem corrompesse ou conspirasse a água potável de uso comum ou particular (MELO, MARACAS e DANTAS NETO, 2012).



## Fase Setorial

No início do Século XX, a troca do modelo econômico de agrário para industrial exige uma maior utilização da energia elétrica para a geração de riquezas. É notável que o interesse constitucional por tutelar a gestão dos recursos hídricos deu-se a partir da demanda sobre a geração de energia elétrica (Graziera, 2003).

Nessa fase há o início de atividades regulatórias, a Constituição Federal de 1934 determinava que competia privativamente à União legislar sobre bens do domínio federal, riquezas do subsolo, mineração, metalurgia, águas, energia hidrelétrica, florestas, caça e pesca e a sua exploração. Neste contexto foi publicado o Decreto 24.643 em 10 de Julho de 1934, o Código de Águas Brasileiro (FARIAS, 2009).

O Código de Águas definiu uma tipologia para classificação das água, critérios de aproveitamento, além dispôs sobre a contaminação dos corpos hídricos e disciplinou o aproveitamento industrial das águas no Brasil. As águas brasileiras são definidas como águas públicas, de uso dominicais ou comum (MELO, MARACAS e DANTAS NETO, 2012).

O artigo 147 do Decreto 24.643 de 10 de Julho de 1934 determina a necessidade de autorização para o aproveitamento de energia hidráulica, seja de domínio público ou particular. Já o artigo 178 determina a prévia aprovação do Ministério da Agricultura para serviços de produção, transmissão, transformação e distribuição de energia hidroelétrica. Tal fato ressalta o fator econômico no recurso ambiental (FARIAS, 2009).

## Fase Holística

As diversas discussões internacionais como o Clube de Roma (1968), a Conferência de Estocolmo (1972) registram o início da preocupação do sistema político com as questões ecológicas. No ano de 1977, em Mar Del Plata, Uruguai ocorre a Conferência das Nações Unidas sobre Água que lança as bases para a tomada de posição da comunidade internacional em relação aos recursos hídricos (MELO, MARACAS e DANTAS NETO, 2012).

No Brasil, com a instituição do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) pela Política Nacional do Meio Ambiente disciplinada pela Lei 6.938, de 31.08.1981, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) recebeu, entre outras competências a função de, “estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos” (GRAZIERA, 2003).

A Resolução 020, de 18.06.1986, editada pelo CONAMA inaugura, no âmbito nacional, a gestão da qualidade das águas. A Constituição Federal de 1988 torna todas as águas públicas, tendo em vista que enquanto recursos naturais são bens públicos de uso comum do povo, excluindo a figura de águas públicas de uso dominicais. A gestão de recursos hídricos foi dividida entre a União, os Estados e o Distrito Federal, sendo a competência de legislar exclusiva da União (FARIAS, 2009)..

A Lei Estadual de São Paulo nº 7.633 de 30 de dezembro de 1991 estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os princípios básicos deste sistema estão ancorados na descentralização, integração, participação, a bacia hidrográfica como unidade de gestão e reconhecimento do valor econômico da água.

Outros estados seguiram a tendência e promulgaram leis estaduais de recursos hídricos como por exemplo: Ceará (1992), Santa Catarina (1994), Rio Grande do Sul (1994), Bahia (1995), Rio Grande do Norte (1996) e Paraíba (1996).

No inciso XIX, do artigo 21 da Constituição Federal de 1988 está previsto a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH). A resolução CONAMA 020/1986 prevaleceu no âmbito federal até a promulgação da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Com ela a União estabelece a sua política e regulamenta seu sistema de gestão de recursos hídricos, aprovados por meio da Lei nº 9.433/1997. Os princípios básicos são comuns à lei estadual paulista (GRAZIERA, 2003).

A Lei 9.984, de 17.07.2000, criou a ANA, a entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e parte integrante do SINGREH, como parte da regulamentação necessária à Lei nº 9.433/1997. A estrutura organizacional e operacional da ANA é dada pelo Decreto nº 3.692, de 19.12.2000.

### 3.1.2. Outorga

A outorga é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e consiste no ato administrativo, mediante o qual o poder público outorgante faculta ao requerente o direito de uso de recursos hídricos.

Segundo Graziera (2003) a outorga trata-se de figura *sui generis* do direito administrativo, devido a suas especificidades e diversidade de natureza, em função da finalidade de uso. Trata-se de uma ato administrativo discricionário, ou seja, há a liberdade de facultar-se a favor ou não mesmo cumpridas as exigências. Assim sendo, a figura da outorga não comporta um enquadramento rígido nos institutos clássicos do direito administrativo.

#### Outorga no âmbito do Estado de São Paulo

Os artigos 9º e 10º das disposições preliminares da Lei 7.663/1991 dissertam acerca da outorga de direito de uso de recursos hídricos, já os artigos 11º a 13º das disposições preliminares da Lei supracitada dispõe das infrações e penalidades.

De acordo com o artigo 7º das disposições transitórias da Lei 7.663/1991, cabe ao DAEE:

- “ I – autorizar a implantação de empreendimento que demandam o uso de recursos hídricos, em conformidade com o disposto no artigo 9º desta lei, sem prejuízo a licença ambiental;
- II – cadastrar os usuários e outorgar o direito de uso dos recursos hídricos, na conformidade com o disposto no artigo 10º e aplicar sanções previstas nos artigos 11 e 12 desta lei;”

O Decreto 41.258, de 31 de outubro de 1996, alterado pelo Decreto nº 50.667, de 30 de março de 2006, aprova o regulamento dos artigos 9º a 13º da Lei nº.7.663, de 30 de dezembro de 1991. Os requisitos para a outorga são definidos pela Portaria do Superintendente do DAEE conforme o artigo 11º do Decreto 41.258/1996.

A Portaria DAEE 717, de 12 de dezembro de 1996, regulamenta e disciplina o uso de recursos hídricos, definindo assim os requisitos para outorgas no estado de São Paulo. Com esses

dispositivos legais o DAEE desempenha seu papel de agente fiscalizador. Na figura 1 observa-se a evolução do número de outorgas expedidas por ano no Estado de São Paulo.

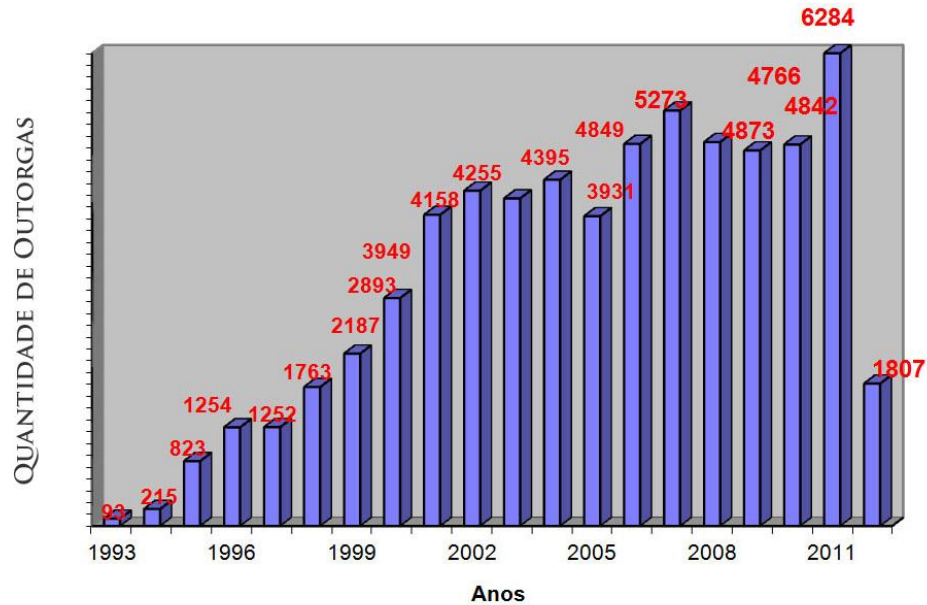


Figura 1- Evolução do número de Outorgas ao longo dos anos.

Fonte: DAEE, 2014.

As Instruções Técnicas da Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização (DPO) N° 001, 002, 003 e 004 de 30 de julho de 2007 tratam dos requerimentos, documentação técnica associada e seus instantes de apresentação ao DAEE, relativos à outorga.

A Instrução Técnica DPO n° 002 estabelece critérios sobre os estudos hidrológicos e hidráulicos a serem apresentados ao DAEE em caso de solicitação de outorga. No item 1.1 da referida instrução técnica são apresentados critérios para determinação da vazão máxima de projeto através de estudos hidrológicos.

O item 1.2 da Instrução Técnica DPO n° 002 define a vazão máxima de projeto como principal parâmetro no dimensionamento da seção transversal de uma canalização, das estruturas extravasoras de um barramento e da seção de uma travessia.

### 3.2. Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas

Em seu sítio na rede mundial de computadores o DAEE disponibiliza o “Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas”. Em tal documento encontram-se conceitos, metodologias, critérios, referências e orientações sobre a determinação da vazão de enchente de projeto, sobre hidráulica básica de canais, travessias e barramentos.

O guia é subdividido em duas partes. A primeira parte, “Parte I – Hidrologia e Hidráulica: Conceitos Básicos e Metodologias” é composta por dois capítulos: “Capítulo 1. Hidrologia - Vazão de Enchente” e “Capítulo 2. Hidráulica de Canais, Travessias e Barramentos”. Já a segunda parte, denominada “Parte II – Aplicações Práticas”, é formada por dois capítulos, “Capítulo 3 – Determinação da Vazão de Projeto” e “Capítulo 4 – Projeto de uma Pequena Barragem”.

O primeiro capítulo trata de Hidrologia, apresentando conceitos, metodologias a serem utilizadas em cada caso e o Método Racional. A figura 2, retirada do capítulo em questão, apresenta diagrama com as variáveis e os métodos a serem utilizados em cada caso para a obtenção da vazão máxima de projeto.

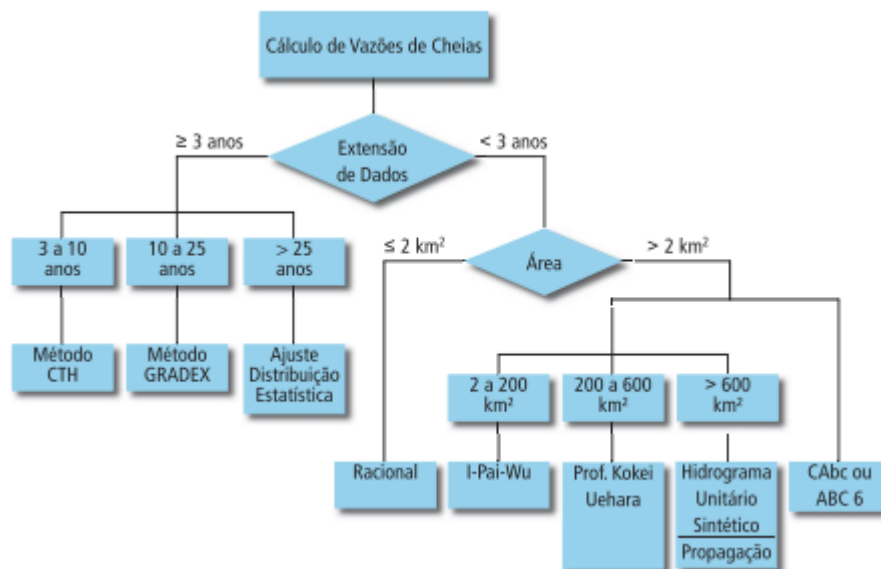


Figura 2 – Diagrama das metodologias adotadas para estimativa de vazão.  
Fonte: São Paulo (2006)

O segundo capítulo deste guia dispõe metodologias de projeto para pequenas obras hidráulicas, já o terceiro capítulo apresenta um exemplo prático utilizando o Método Racional, enquanto o quarto capítulo apresenta um projeto de uma Pequena Barragem.

### 3.3. Modelos Hidrológicos

O conhecimento sobre o regime de vazões de uma bacia hidrográfica é importante nos estudos hidrológicos. A utilização de modelos hidrológicos é uma forma comum para obter dados sintéticos da vazão para um local específico.

Segundo Tucci (2005), modelo é uma representação de fácil acesso e uso de algum objetivo ou sistema de forma a entendê-lo e buscar resultados para diferentes entradas. Ainda segundo este autor, o escoamento numa bacia hidrográfica resulta da interação de precipitação, intercepção, infiltração e evapotranspiração, que pode ser estudado por equações, por exemplo através de um modelo hidrológico matemático.

Os modelos conectam as observações e as proposições teóricas, devendo possuir objetivos bem definidos para a obtenção do que quer se prever. Dessa maneira destaca-se entre suas funções servir como instrumento para o planejamento (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A definição de modelo, segundo Haggett e Chorley (1975) apud Christofolletti (1999), “é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos da realidade”.

De acordo com Graciosa (2010), modelo é uma representação física ou matemática da realidade que busca reproduzir o comportamento de sistemas através de dados de entrada e seu estado inicial. Modelos matemáticos buscam representar o sistema através de equações simulando os processos, enquanto modelos físicos procuram reproduzir fisicamente o sistema em menor escala, permitindo a manipulação e análise dos processos. A figura 3, extraída de Graciosa (2010), ilustra a forma pela qual o modelo representa o sistema real.

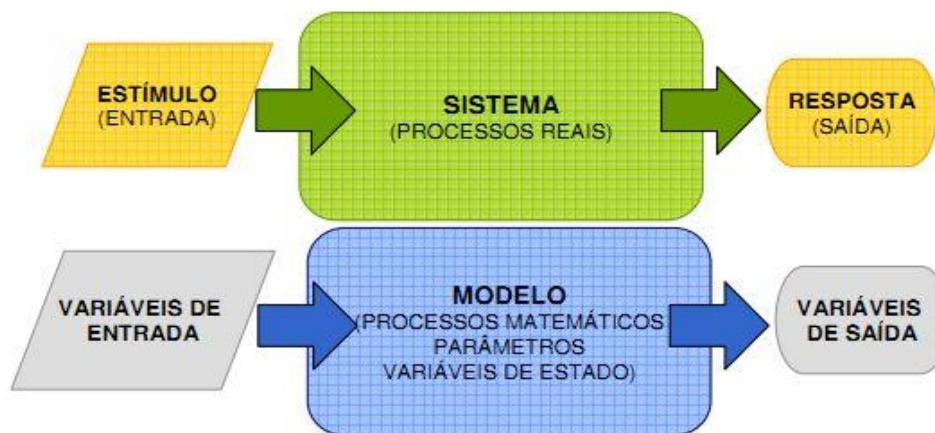


Figura 3 – Diagramas esquemáticos de uma representação de um sistema real por um modelo.  
Fonte: Graciosa (2010).

Segundo Tucci (2005), é importante se levar em consideração as limitações para a seleção de um modelo hidrológico adequado aos objetivos desejados. Dado a diversidade de modelos hidrológicos disponíveis atualmente, fatores como a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos disponíveis, heterogeneidade física da bacia, diversidade dos processos envolvidos, simplificações na representação espacial das variáveis e fenômenos, entre outros, são determinantes na escolha do modelo e qualidade dos resultados obtidos.

A seguir, descreve-se as duas metodologias a serem analisadas, o método I Pai Wu Modificado, segundo a Instrução Técnicas DPO N° 002 de 30/07/2007 por tratar-se de bacia contribuinte de área superior a 2 km<sup>2</sup> e inferior a 200 km<sup>2</sup>, e o Método Soil Conservation System (SCS), utilizado em outros trabalhos acerca da Microbacia do Córrego do Gregório como Graciosa (2010) e Decina (2012)

### 3.3.1. Método I Pai Wu Modificado

Para o cálculo da vazão de projeto, por tratar-se de bacia contribuinte de área superior a 2 km<sup>2</sup> e inferior a 200 km<sup>2</sup>, com pode ser observado nos capítulos subsequentes, as vazões foram determinadas mediante a aplicação do Método I-Pai-Wu Modificado usando os critérios de seleção do DAEE (2007).

Esta metodologia consiste numa modificação do Método Racional, outros fatores são considerados, sendo eles o armazenamento da bacia, à distribuição das chuvas e a forma da

bacia, ou seja, o pico de vazão não ocorre necessariamente no tempo de concentração, devido ao formato alongado das bacias.

O Método I-Pai-Wu é definido analiticamente pela seguinte expressão:

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^{0,9} \cdot K$$

Em que:

$Q_p$ : Vazão de projeto, em m<sup>3</sup>/s;

$C$ : Coeficiente de deflúvio, adimensional;

$i$ : Intensidade de chuva, em mm/h;

$A$ : Área da bacia contribuinte, em km<sup>2</sup>;

$K$ : coeficiente de distribuição espacial da chuva.

### Coeficiente de Deflúvio – C

A determinação do coeficiente de deflúvio depende de fatores da bacia hidrográfica analisada tais como tipo de solo, declividade e uso da terra e condições de cobertura.

No método I-Pai-Wu utiliza-se um coeficiente  $C$ , que, multiplicado pela intensidade de precipitação de projeto e pelo coeficiente de distribuição da chuva, fornece o pico de cheia considerada por unidade de área. Portanto, não se trata de uma relação de volumes escoados e precipitados, mas o coeficiente de deflúvio, neste caso, está indicando a relação entre a máxima vazão escoada e a intensidade de precipitação.

Segundo DAEE (2012), o coeficiente  $C$  pode ser determinada pela equação:

$$C = \frac{2}{1 + F} \cdot \frac{C_2}{C_1}$$

Onde:

$C_1$ : Coeficiente de forma da bacia;

$C_2$ : Coeficiente volumétrico de escoamento;



$F$ : Fator de forma.

Enquanto o coeficiente  $C_2$  apresenta valores **Tabela 1**, apresentados na tabela, por sua vez as variáveis  $F$  e  $C_1$  são determinadas pela fórmulas a seguir:

$$F = \frac{L}{2 \cdot (A/\pi)^{1/2}}$$

$$C_1 = \frac{4}{2+F}$$

Onde:

$A$  = Área da bacia contribuinte, em km<sup>2</sup>;

$L$  = Comprimento do talvegue do curso d'água, em km

Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento superficial direto.

<b>Cobertura ou tipo do solo</b>	<b>Uso do Solo ou Grau de Urbanização</b>	<b>C2</b>
- Terreno seco e muito arenoso	- Zonas Verdes Não Urbanizadas	
- Terreno com vegetação densa	- Zonas de proteção de mananciais com vegetação densa	0,1
- Terrenos planos	- Parques e áreas vazias	
- Vegetação rala e/ou esparsa		
- Solo arenoso seco	- Zonas especiais (universidades, cemitérios, aeroportos)	0,3
- Terrenos Cultivados		
- Manto fino de material poroso	- Zona residencial com lotes amplos (maiores que 1.000m <sup>2</sup> )	
- Pouca vegetação		0,5
- Gramados amplos, prados e campinas	- Zona residencial rarefeita	
- Declividade média		
- Pavimentado com declividade média	- Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m <sup>2</sup> )	
- Solos argilosos ou pantanosos		0,7
- Terrenos rochosos estéreis ondulados	- Zona de Apartamentos e edifícios comerciais	
- Vegetação quase inexistente		
- Pavimentado com declividade forte		
- Rocha viva não porosa	- Zona de concentração de prédios comerciais e/ou residenciais	
- Estéril montanhoso		0,9
- Vegetação inexistente		

Fonte: DAEE (2012).

## Coeficiente de distribuição espacial da chuva – K

O coeficiente de distribuição espacial da chuva é função do tempo de concentração das chuvas e da área de drenagem. Seu valor pode ser obtido através do gráfico a seguir extraído do manual “Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “I-Pai-Wu” (São Paulo, 1999).

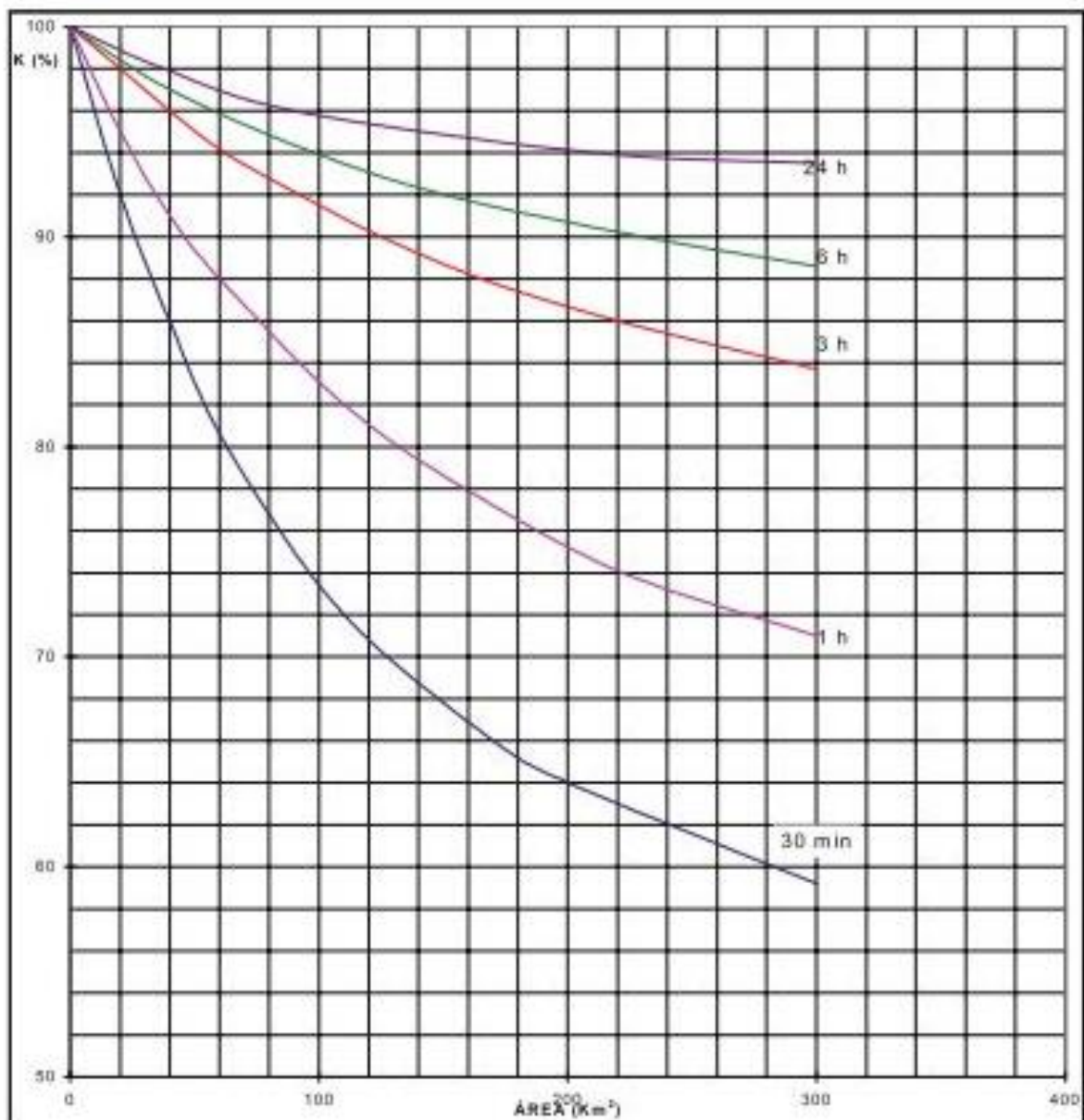


Figura 4 - Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).  
Fonte: São Paulo (1999).

### 3.3.2. Método SCS

O método SCS (*Soil Conservation Service*, atualmente *National Resources Conservation Service*), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1976, é utilizado em bacias hidrográficas com área entre 2 km<sup>2</sup> a 5.000km<sup>2</sup>, além de ser um dos modelos mais aplicados em projetos e pesquisas.

Neste método, a infiltração e a retenção de parte da chuva nas depressões do solo são os fatores que mais afetam a relação chuva-vazão. Tais parâmetros determinam a quantidade de precipitação que se transforma em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva ( $P_E$ ) (GRACIOSA,2010).

#### Precipitação Efetiva – $P_E$

A determinação da precipitação efetiva é definida analiticamente através das equações a seguir:

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}; P > I_a$$

$$I_a = 0,2 \times S$$

$$S = 25,4 \times \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Onde:

$P_E$ : precipitação efetiva (mm)

P: precipitação total (mm)

$I_a$ : perdas iniciais por retenção da chuva na bacia (mm)

S: potencial de retenção do solo, após início do escoamento superficial (mm)

CN: parâmetro *Curve Number*

Segundo Decina (2012), as fórmulas apresentadas determinam a precipitação efetiva de um evento, em função de características do solo que influenciem a infiltração. Este método assume que 20% do valor total do armazenamento potencial no solo sejam as perdas iniciais por retenção na bacia. Logo, o escoamento superficial é gerado somente se o valor das perdas iniciais (Ia) for menor que a precipitação total (P).

Com o valor variando de 0 a 100 o parâmetro CN (Curve Number) está associado às condições de uso e ocupação do solo, à umidade antecedente e ao tipo hidrológico do solo. O parâmetro é diretamente proporcional ao escoamento superficial gerado em relação à precipitação total. As tabelas 2 e 3, adaptadas de DAEE (2012), discretizam as classes e as condições de umidade do solo utilizadas na metodologia.

Tabela 2 – Grupos de solos para o parâmetro CN.

<b>Grupo</b>	<b>Descrição</b>
A	Solos arenosos, com baixo teor de argila total (inferior a 8%), sem camada argilosa, sem rochas e nem mesmo densificada até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1 %
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 a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2% e 1,5%. Não pode haver camadas argilosas e nem pedras até 1,5m, mas é quase sempre presente uma camada mais densificada que a camada superficial.
C	Solos com teor de argila de 20 a 30%, porém sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até 1,2m de profundidade. No caso de terras roxas, estes limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Observa-se, acerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas longe das condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e com camada densificada a uns 50cm de profundidade ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Fonte: DAEE (2012).

Tabela 3 – Condições de umidade do solo para o parâmetro CN.

Condição de Umidade	Descrição
1	Solos secos, precipitação nos últimos 5 dias não ultrapassa 15mm
2	Situação média na época das cheias, precipitação nos últimos 5 dias varia entre 15 e 40mm
3	Solo próximo da saturação, precipitação nos últimos 5 dias superior a 40mm e condições meteorológicas desfavoráveis a altas taxas de evaporação

Fonte: DAEE (2012).

Os valores de CN para os tipos de ocupação do solo e grupo hidrológico encontram-se expressos no Anexo A. Ressalta-se que tais valores indicam o índice CN para a condição II de umidade. Segundo Righetto (1998) apud Decina (2012), as demais condições de umidade podem ser obtidas com as equações a seguir:

$$CN(I) = \frac{4,2 \times CN(II)}{10 - 0,058 \times CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 \times CN(II)}$$

Onde:

CN(I): CN para condição de umidade I

CN(II): CN para condição de umidade II

CN(III): CN para condição de umidade III

Tendo em vista que as condições de uso e ocupação do solo não são constantes ao longo da bacia hidrográfica, resultando em diferentes valores de CN, é necessário calcular um valor médio do *Curve Number* que represente o sistema todo. Para tal calcula-se uma média ponderada considerando o valor de CN de cada região da bacia e sua respectiva área (DECINA, 2012).

## Hidrograma Unitário do SCS

Esta metodologia tem como conceito básico o hidrograma unitário, que consiste na suposição de uma relação linear entre chuvas excedentes e vazões de hidrograma de cheia. A partir dos princípios da proporcionalidade e da superposição é possível generalizá-lo para qualquer duração de chuva e distribuição temporal (FCTH, 2003).

O princípio da proporcionalidade assume que a partir do hidrograma gerado por uma chuva unitária é possível gerar o hidrograma de uma chuva qualquer de mesma duração, através da multiplicação das ordenadas do hidrograma unitário pela razão entre os valores das precipitações. Para obter o hidrograma referente a chuvas de diferentes durações é utilizado o princípio da superposição. Para tal, assume-se que a chuva seja discretizada em ietogramas de vários blocos. A partir de hidrogramas parciais de cada bloco de chuva, cada um iniciando juntamente com sua chuva correspondente, somam-se as ordenadas de cada hidrograma para que se obtenha um resultante, equivalente à chuva toda (DECINA, 2012).

Para utilizar o hidrograma unitário assumiu-se:

- Intensidade de chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o hidrograma unitário;
- Chuva efetiva tem distribuição uniforme ao longo de toda a área de drenagem da bacia;
- Tempo base do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
- Todas as características de uma dada bacia de drenagem são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia.

+

O equacionamento do hidrograma unitário, bem como seus parâmetros, podem ser visualizados no *National Engineering Handbook* (USDA, 2007).

### 3.3.3. Softwares para modelação hidrológica

Os softwares descritos a seguir foram desenvolvidos pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão (LabSid), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola de Engenharia Politécnica da Universidade de São Paulo.

O Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas (SSD ABC) originou-se com finalidades didáticas, para atender a alunos de graduação e pós-graduação. Porém, no seu atual estágio de desenvolvimento, vem sendo utilizado profissionalmente devido às facilidades de utilização da sua interface gráfica e dos seus métodos de cálculo. Adotando o uso de métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados, perfil tipicamente urbano e de pequenas bacias rurais.

Duas versões diferentes do software serão utilizadas, o ABC6, e o ABC – DAEE. A diferença entre os softwares está nos modelos hidrológicos presentes em cada um. Enquanto o ABC – DAEE foi desenvolvido especificamente para atender as demandas geradas pelos estudos de outorga possuindo os métodos recomendados, o ABC6 possui apenas o método SCS dos recomendados. Destaca-se que a versão ABC6 é mais versátil possuindo outros métodos hidrológicos.

A tabela 4 exhibe os parâmetros de entrada e a unidade para cada metodologia utilizada nesse presente estudo. Destaca-se que os parâmetros Tempo de Trânsito de Cheia, Coeficiente de Amortecimento, Velocidade, Coeficiente de Dispersão da Chuva, Coeficiente de Deflúvio e Coeficiente de Escoamento Superficial são preenchidos automaticamente pelo software a partir dos outros parâmetros de entrada.

Tabela 4 - Parâmetros de entrada nos softwares ABC para as metodologias adotadas.

I-PAI-WU		SCS	
Parâmetro	Unidade	Parâmetro	Unidade
Área da bacia hidrográfica	km <sup>2</sup>	Área da bacia hidrográfica	km <sup>2</sup>
Declividade média	m/km	Declividade média	m/km
Tempo de Concentração	h	Tempo de Concentração	h
Duração da Chuva	min	Duração da Chuva	min
Tempo de Retorno	anos	Tempo de Retorno	anos
Tempo de Trânsito de Cheia	h	Tempo de Trânsito de Cheia	h
Coefficiente de Amortecimento	adimensional	Coefficiente de Amortecimento	adimensional
Velocidade	m/s	Velocidade	m/s
Comprimento	m	Comprimento	m
Fator de Forma	adimensional	CN	Adimensional
Coefficiente de Deflúvio	adimensional		
Coefficiente de Dispersão da Chuva	adimensional		
Coefficiente de Escoamento Superficial	adimensional		

### 3.4. Sistema de Informações Geográficas

Segundo Liu (2006), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um modelo matemático dinâmico, construído com um banco de dados digitais gerenciados para facilitar a atualização e a aplicação dos dados georreferenciados de diversas camadas de informação na otimização e no planejamento de uma tarefa.

Segundo Câmara e Davis (2001), os SIGs podem ser aplicados a diferentes campos do conhecimento, porém existem três grandes maneiras de utiliza-lo: ferramenta para produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos e banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Segundo Martins (2012), utilizar SIG para o cálculo de variáveis hidrológicas é apropriado e os resultados serão melhores quanto melhor é a base cartográfica disponível, a imagem de satélite, a experiência do operador e o seu grau de conhecimento.



### 3.5. Microbacia do Córrego do Gregório

A colonização da cidade de São Carlos data do fim do século XVIII, porém o povoamento data de meados do século XIX. Segundo Almeida (2000) em 1857 foi levantado o marco inicial da cidade, a capela onde hoje se localiza a Catedral São Carlos Borromeu, na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório.

Assim como outras cidades do estado de São Paulo, São Carlos passou por acelerados processos de crescimento populacional e urbanização durante a segunda metade do século XX. De acordo com Graciosa (2010) a bacia do Gregório é caracterizada por possuir a maior parte de sua área urbanizada, com áreas verdes nas cabeceiras, porém em processo de ocupação das cabeceiras.

A microbacia do Gregório foi escolhida como objeto do estudo devido à destacadas anteriormente, condição frequente em outras cidades do estado de São Paulo. Outro fator considerado além da extensa série de estudos envolvendo a região em questão.

#### 3.5.1. Trabalhos realizados na área

A microbacia do Córrego do Gregório possui um extenso histórico de pesquisas envolvendo uso e ocupação do solo, modelação hidrológica e controle de cheias. Ao longo de 30 anos desenvolveram-se modelos para a área e houve intensa discussão sobre o uso e ocupação do solo devido a problemática de enchentes, um problema de interesse público.

Machado (1981) modelou os principais processos do ciclo hidrológico urbano, como retenção superficial, geração de escoamento de superfície, infiltração e propagação de escoamento em canais, galerias e sarjetas e testou-os na microbacia do Córrego do Gregório. Ao comparar com valores observados, comprovou-se a eficácia da modelação.

O resultado obtido, um modelo hidrológico distribuído determinístico para bacias urbanas foi aprimorado por Barbassa (1991) para simular o efeito da urbanização em duas bacias hidrográficas no município de São Carlos, a do Córrego do Gregório e do Monjolinho. O aumento da impermeabilização da bacia no período de 1980 a 1990 ocasionou um aumento na vazão de pico de 20% para determinada seção do Córrego do Gregório.

Almeida Neto et al. (2004), realizaram análise de alguns parâmetros do balanço hídrico da bacia do Córrego do Gregório através de dados obtidos em 2 estações climatológicas e 1 estação plúvio-fluviométrica. Durante 5 meses, foram avaliadas o escoamento superficial, o armazenamento, a precipitação e a evaporação na bacia.

Boldrin (2005) realizou a simulação hidrológica dos cenários propostos por Alves (2005) utilizando o modelo IPHS-1. Os cenários propostos simulam diferentes condições de uso e ocupação do solo. Barros (2005) comparou dois modelos diferentes a fim de subsidiar tomada de decisão no plano diretor municipal. Todos os trabalhos apresentam ênfase em medidas de controle de enchente devido ao histórico da microbacia Córrego do Gregório.

O modelo hidrológico distribuído Storm Water Management Model, SWMM foi utilizado por Collodel (2009) para avaliar diferentes níveis de detalhamento das estruturas de drenagem porção mais alta da bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, até as proximidades do Fórum Municipal. Desta forma, estabeleceram-se 11 níveis de detalhamento da bacia e o resultado obtido mostra que um maior nível de detalhamento conduziu a uma melhor adequação dos hidrogramas simulados com os observados.

Graciosa (2010) utilizou SIG e um modelo hidráulico-hidrológica para gerar manchas de inundação e mapas de risco na bacia do Córrego do Gregório. Já Decina (2012) através da criação de cenários e modelação hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego do Gregório simulou o efeito de medida estruturais e não-estruturais de controle de inundações em uma bacia hidrográfica. Para tal modelação Decina utilizou os softwares HEC-RAS e HEC-HMS

Martins (2012) utilizou técnicas de sensoriamento remoto aliadas a SIG para a obtenção de parâmetros hidrológicos para bacias hidrográficas urbanas. O resultado encontrado foi satisfatório, recomendando-se o uso das ferramentas.

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Modelos Hidrológicos

Neste presente estudo, foram utilizados duas (2) diferentes metodologias, em quatro (4) diferentes avaliações para a análise da influência dos estudos hidrológicos na vazão de projeto para pequenas obras hidráulicas. Ambos os métodos analisados foram aplicados de maneiras diferentes, para maior riqueza de resultados. Destaca-se que o uso e ocupação do solo utilizado e o período de retorno nos diferentes modelos é o mesmo.

A Avaliação 1 utilizou o método I-Pai-Wu Modificado, sem o auxílio do software ABC, os cálculos foram realizados com o auxílio de planilhas. Destaca-se que para este cenário assumiu-se a área de estudo inteira, ou seja, sem a divisão em sub-bacias.

Por sua vez as Avaliações 2, 3 e 4 utilizam a divisão em sub-bacias e o auxílio do software de modelagem hidrológica. A Avaliação 2 utiliza o método I-Pai-Wu Modificado e software ABC-DAEE, já o Avaliação 3 utiliza o método SCS e o software “ABC-DAEE”. Por sua vez a Avaliação 4 é construído com o método SCS e o software “ABC6”

A tabela 5 apresenta a descrição de cada avaliação e as diferenças entre elas.

Tabela 5 - Resumo das Avaliações

Avaliação	Metodologia adotada	Software utilizado	Número de Sub-bacias
1	I-Pai-Wu	-	1
2	I-Pai-Wu	ABC-DAEE	7
3	SCS	ABC-DAEE	7
4	SCS	ABC6	7

Destaca-se que os dados das condições de uso e ocupação do solo, Tempo de Trânsito de Cheia, Coeficiente de Amortecimento e tempo de duração da chuva de projeto serão os mesmos em todas avaliações. Já as características físicas da área de estudo (área, declividade e talvegue) são as mesmas, com a diferença que na Avaliação 1 não haverão sub-bacias.

#### 4.2. Delimitação da área de estudo

A microbacia do Córrego do Gregório localiza-se no município de São Carlos, estado de São Paulo. A figura a seguir localiza a bacia hidrográfica do Córrego do Gregório no município de São Carlos e limítrofes, a partir de dados topográficos e hidrográficos obtidos junto ao CDCC e no sitio do IBGE (2014) na rede mundial de computadores.

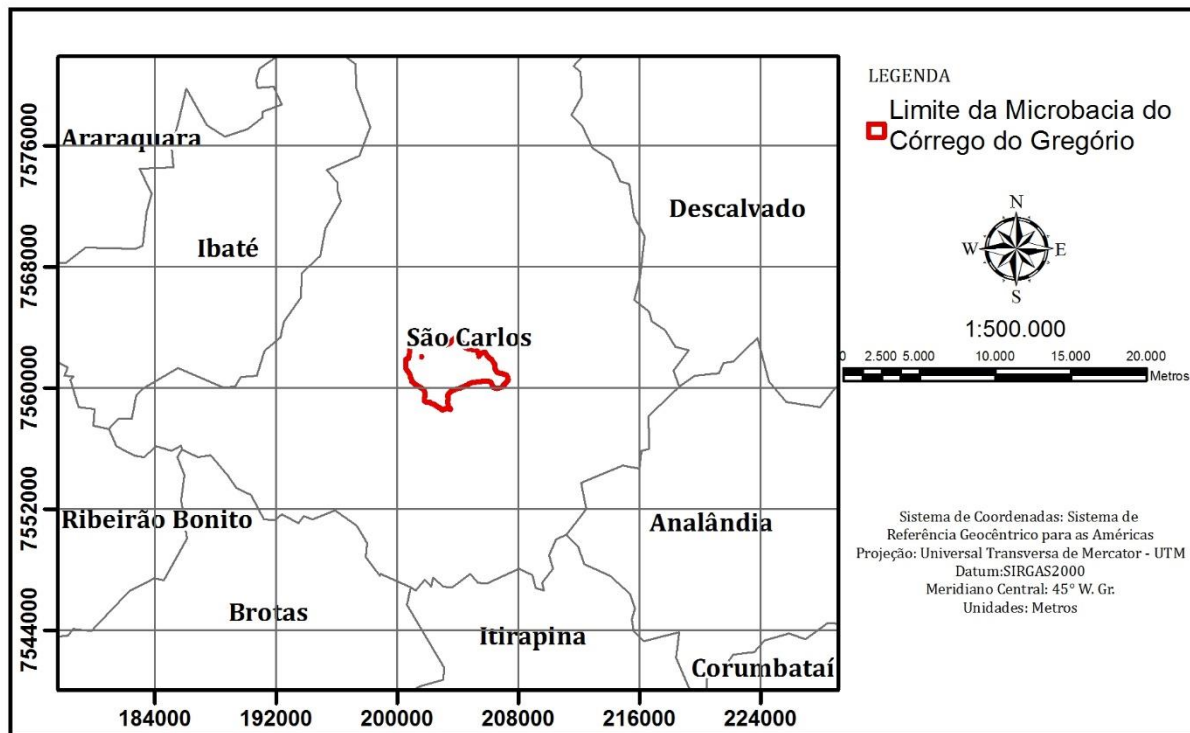


Figura 5 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Gregório no município de São Carlos.

Segundo dados do Censo 2010 do IBGE (2010) o Município de São Carlos possui população estimada em 236.347 habitantes para 2013. Através de dados disponibilizados online pelo IBGE obteve-se que a microbacia do Córrego do Gregório apresenta população de 43.082 habitantes, densidade demográfica de 5,90 habitante por hectare e média de 2,76 habitantes por domicílio. A figura abaixo apresenta a pirâmide etária dos habitantes da microbacia, adaptada dos dados do IBGE (2010).

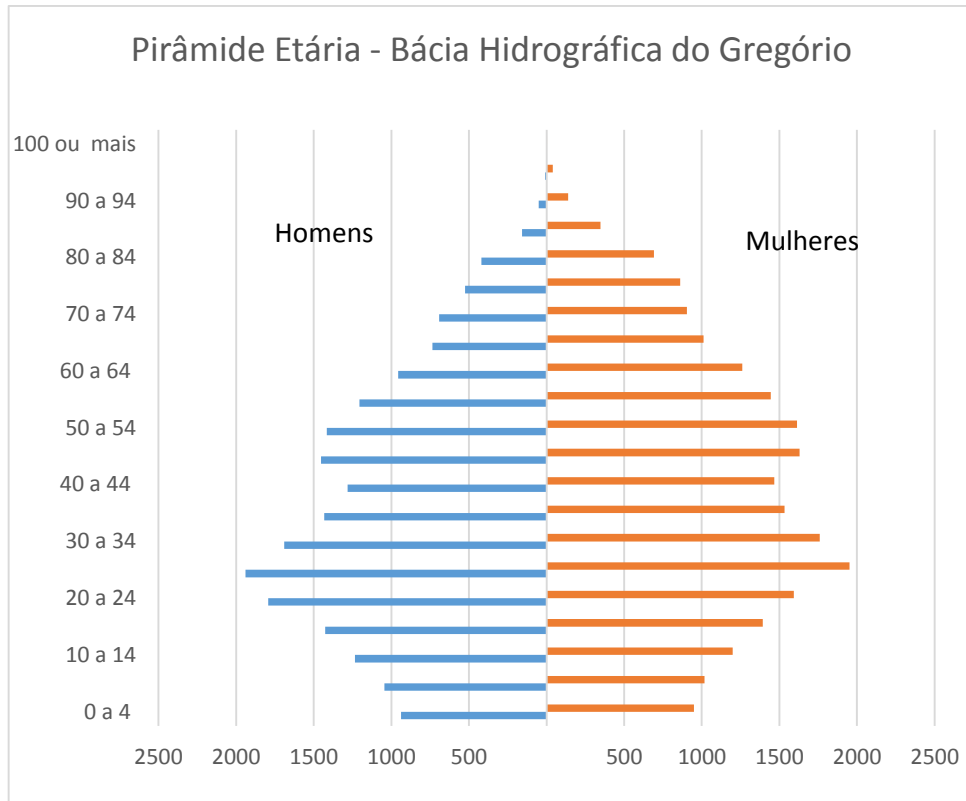


Figura 6 – Pirâmide etária da bacia hidrográfica do Córrego do Gregório.  
Fonte: IBGE (2010).

O Córrego do Gregório, enquadrado como corpo hídrico de 4ª ordem de acordo com ordenamento proposto por Strahler (1957), é afluente da margem esquerda do Córrego do Monjolinho que, por sua vez, deságua na margem esquerda do Rio Jacaré-Guaçu. A Bacia do Rio Jacaré-Guaçu é uma sub-bacia hidrográfica Rio Tiête.

A bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu é parte integrante da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos N° 13 (UGRHI-13) – Tiete-Jacaré. A localização da UGRHI-13 no Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do estado de São Paulo pode ser observada na Figura 7.

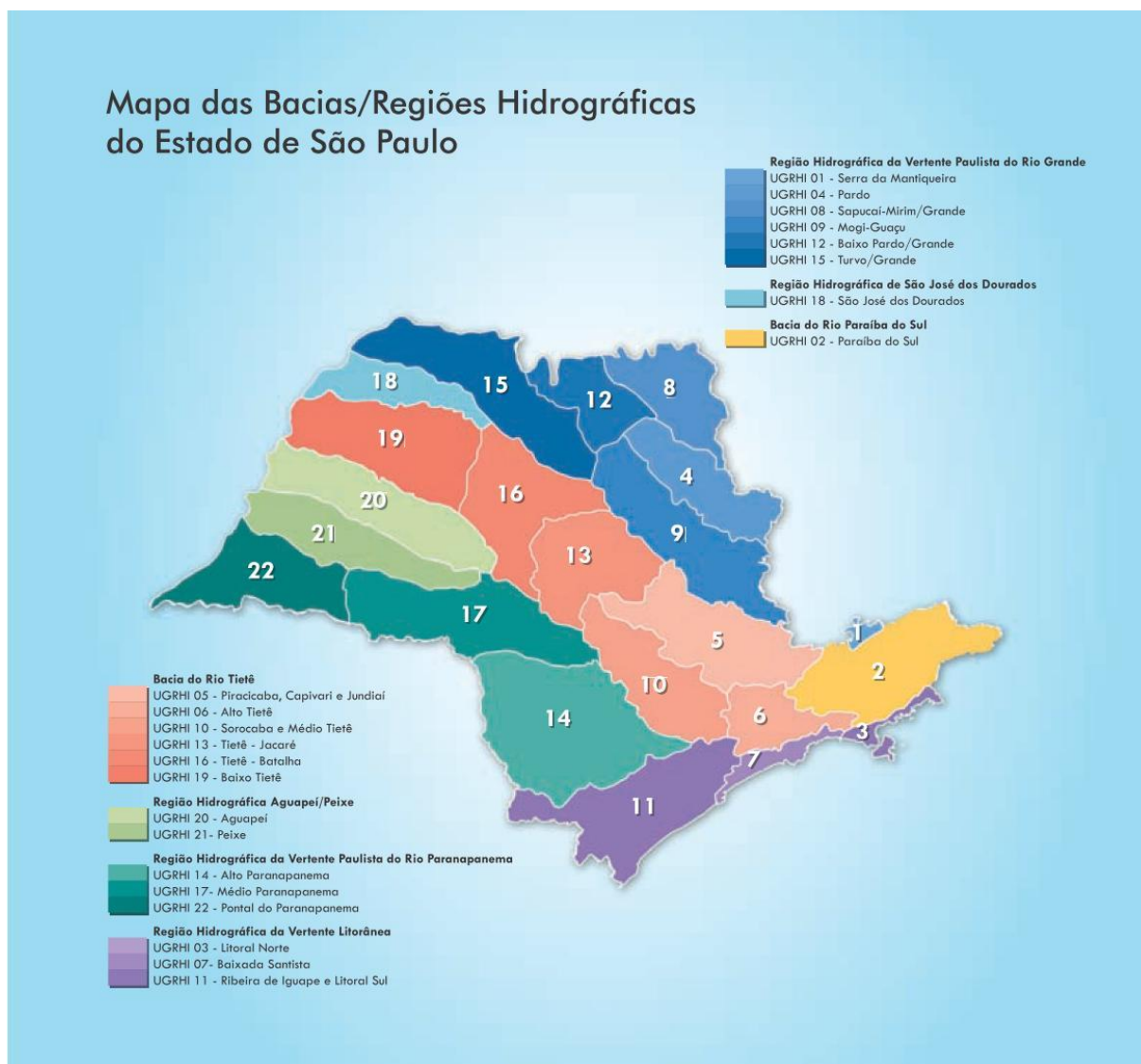


Figura 7 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo.  
Fonte: São Paulo (2011).

No Estado de São Paulo, a UGRHI-13 estendem-se por 11.779,79 km<sup>2</sup>, apresentando 9 % da área com vegetação remanescente, sendo as maiores ocorrências de Floresta Estacional Semidecidual e Savana (SÃO PAULO, 2011).

O Córrego do Gregório nasce a leste da cidade de São Carlos, a aproximadamente 900 m de altitude e percorre cerca de 7 km até sua foz no Córrego do Monjolinho. Sua bacia hidrográfica possui área de 18,93 km<sup>2</sup> (GRACIOSA, 2010).

Destaca-se que a região adotada no estudo não abrange a microbacia do Córrego do Gregório em sua totalidade. Tal motivo se dá para posterior comparação com o estudo realizado por Decina (2012). Então a região estudada abrange das cabeceiras da bacia até parte do córrego

próxima ao encontro da Avenida Alfredo Maffei com a Rua Visconde de Inhaúma e apresenta área de 17,45 km<sup>2</sup>.

A figura 8 mostra a delimitação da área de estudo sobreposta à imagem de satélite da Digital Globe datada de 28/10/2013 disponível no software Google Earth®.

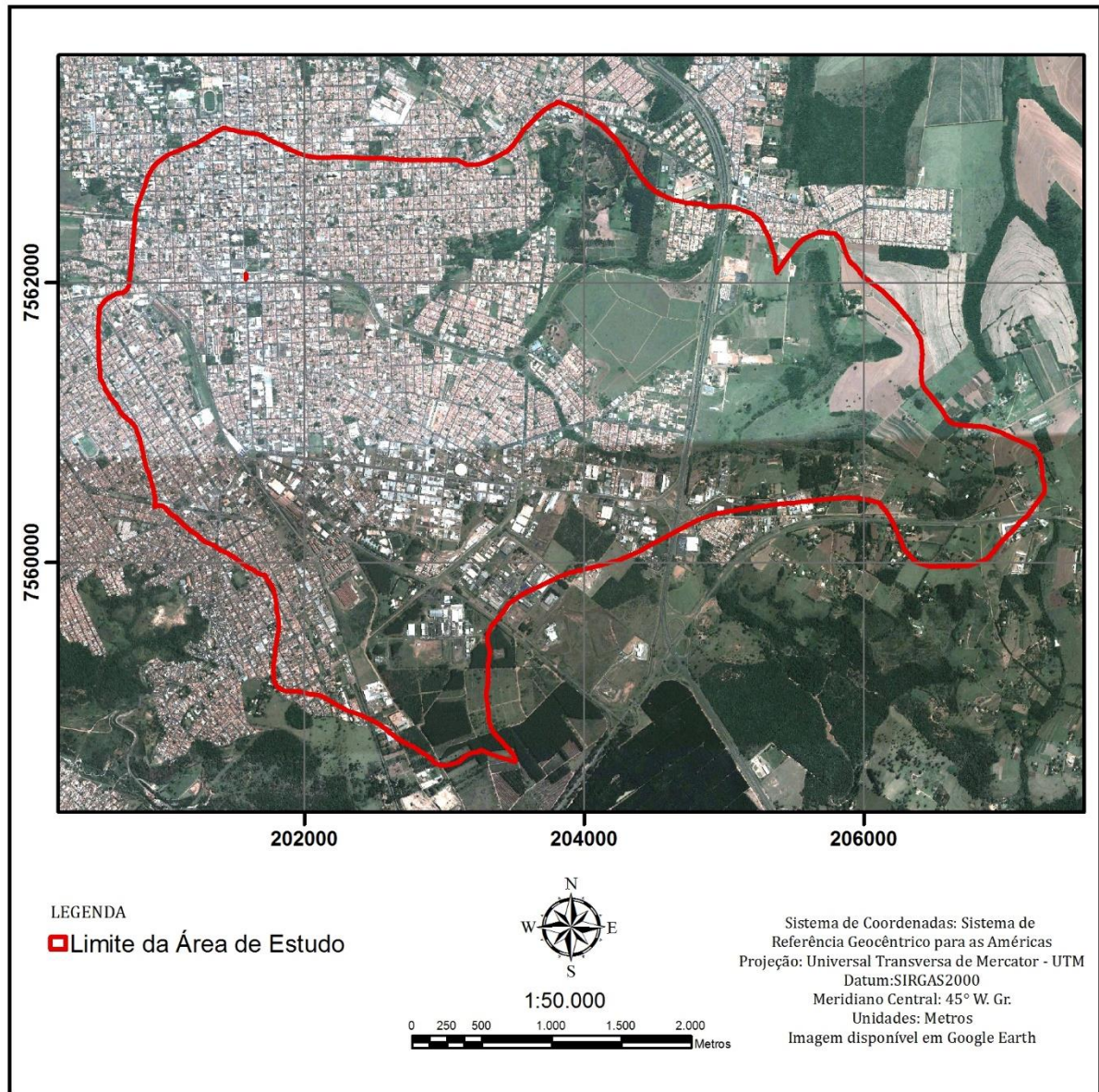


Figura 8 – Delimitação da área de estudo sobreposta à imagem de satélite.

### 4.3. Dados Topográficos

Neste trabalho, os dados topográficos utilizados foram fornecidos pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural, órgão pertencente à Universidade de São Paulo. As informações foram obtidas em formato CAD contendo a delimitação da bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, curvas de nível de 5 em 5 metros, alguns pontos cotados e o mapeamento do sistema viário.

Destaca-se que essas informações foram utilizadas por Decina (2012) para delimitação das sub-bacias, geração de um modelo digital do terreno da bacia (MDT) e cálculo do tempo de concentração. Neste estudo, foram utilizados os dados para obter o MDT e possibilitar o cálculo dos tempos de concentração das subbacias. A figura a seguir contém as informações obtidas junto ao CDCC.



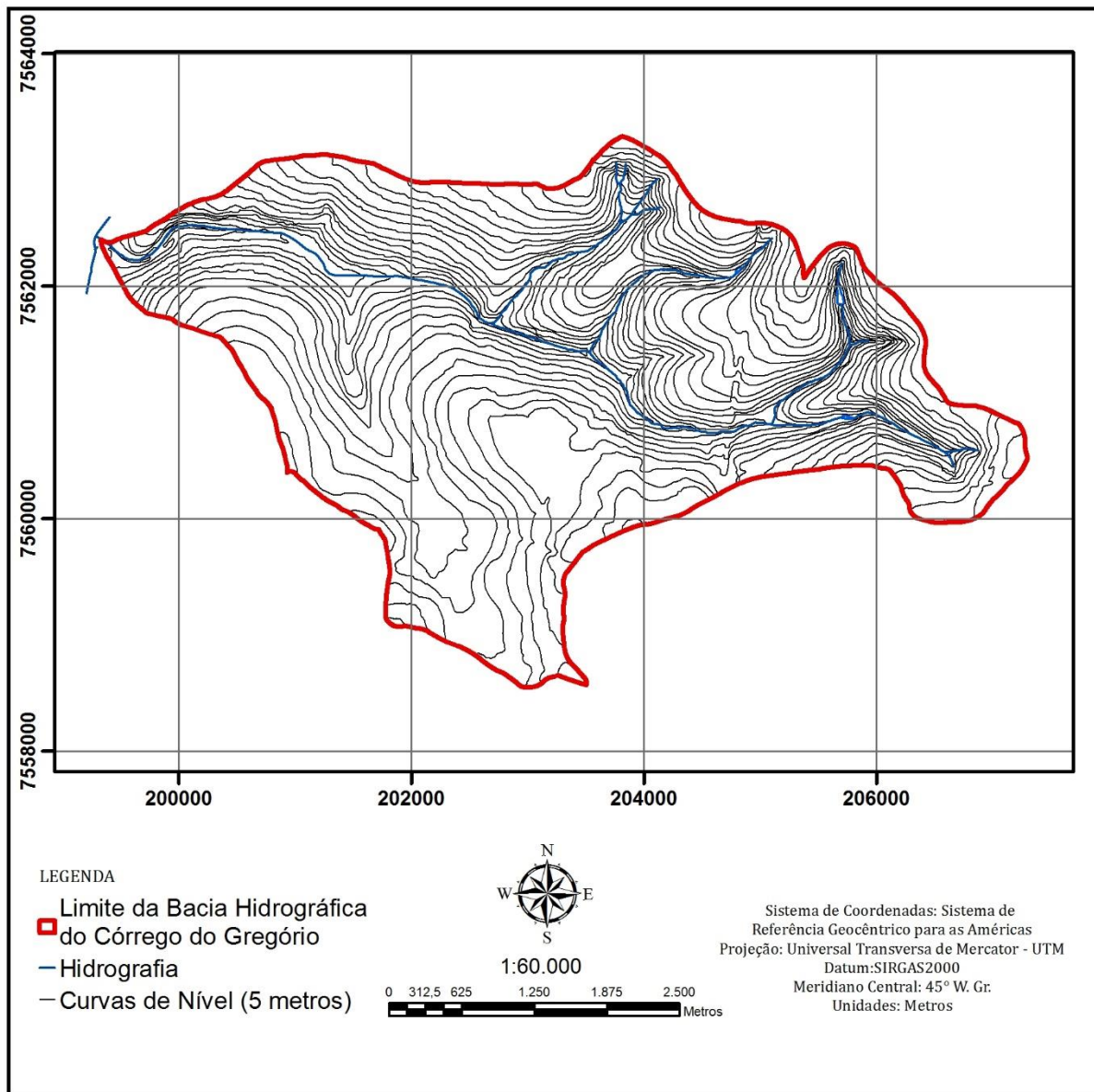


Figura 9 - Dados obtidos junto ao CDCC.

#### 4.4. Delimitação das Sub-bacias

A delimitação das sub-bacias utilizadas nos modelos hidrológicos foi uma informação obtida a partir do trabalho realizado por Decina (2012). A partir dos dados obtidos junto a Decina, delimitaram-se as sub-bacias adotando os nós como critério, resultando no total de 7 (sete) sub-bacias na área de estudo. O resultado obtido encontra-se na figura 10, apresentada a seguir.

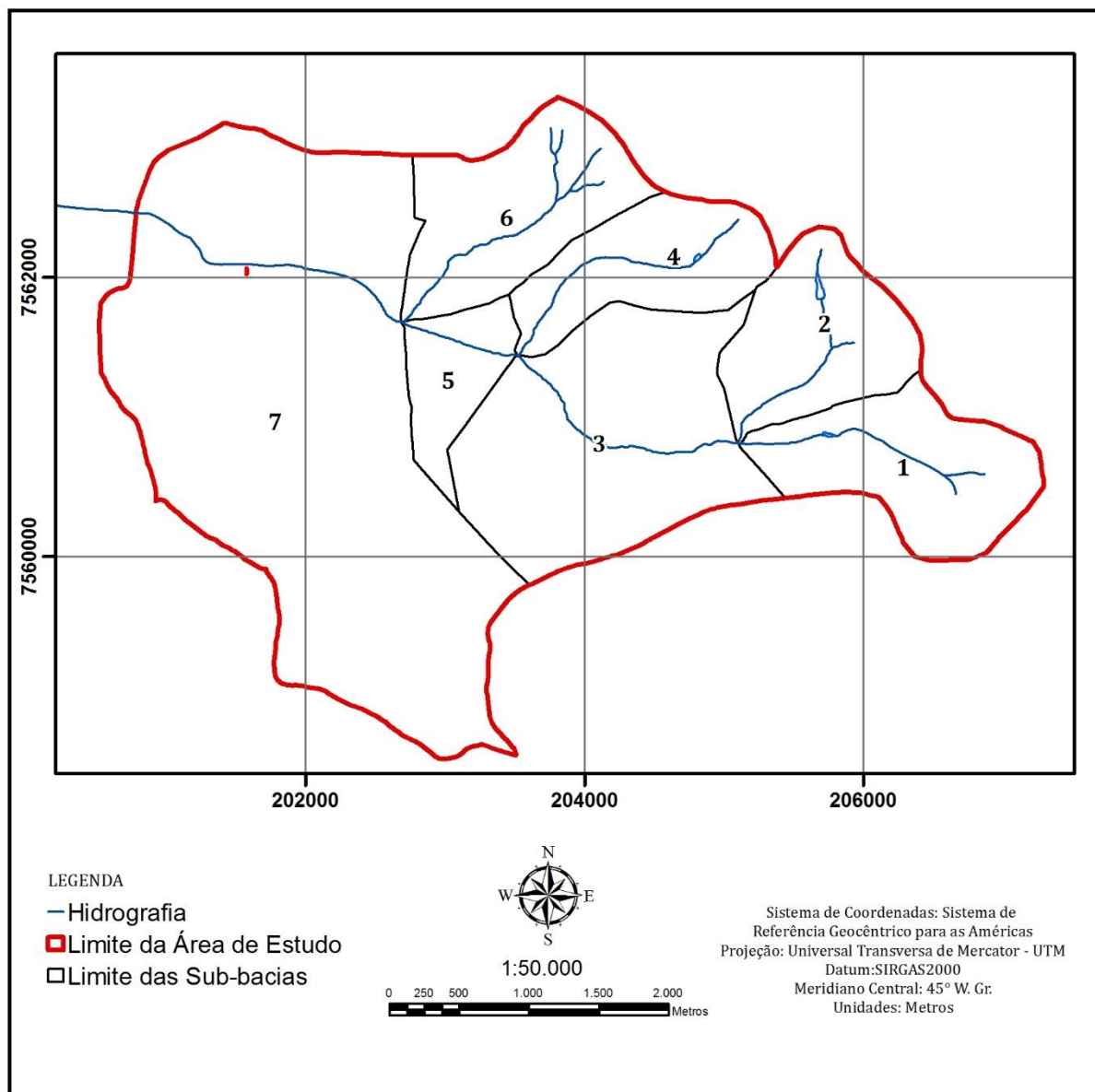


Figura 10 – Sub-bacias hidrográficas na área de estudo

#### 4.4.1. Talvegue

O comprimento de cada trecho do talvegue e a declividade de cada trecho foram obtidos com o auxílio de software de SIG a partir dos dados obtidos junto ao CDCC. A partir dos dados topográficos e hidrológicos construiu-se o MDT e a partir deste extraiu-se os dados sobre o perfil do talvegue.

Para determinação da declividade equivalente do talvegue foi utilizada a equação recomenda por São Paulo (2006), exposta a seguir:

$$I_{eq} = \left( \frac{L}{\sum_1^n \frac{L_n}{\sqrt{j_n}}} \right)$$

Onde:

$I_{eq}$  = Declividade equivalente, em m/km;

$L$  = Comprimento do talvegue, em km;

$L_n$  = Comprimento de cada trecho do talvegue, em km;

$j_n$  = Declividade de cada trecho do talvegue, em m/km.

#### 4.5. Tempo de retorno ( $T_R$ )

O tempo de retorno ou período de retorno é o intervalo médio de anos dentro do qual ocorre ou é superada uma dada cheia. Em se tratando do dimensionamento das pequenas obras hidráulicas, o período de retorno, de acordo com a importância da obra varia, de 2 a 500 anos.

Destacam-se aqui alguns fatores que devem ser ponderados nessa escolha:

- Densidade de população da região;
- Volume de tráfego do sistema viário;
- Tipo de obra;
- Porte de obra;
- Proximidade de equipamentos públicos e comunitários como escolas, hospitais, estações rodoferroviárias, shoppings, etc.

Segundo o item 1.1.2. da Instrução DPO N° 002, de 30/07/2007 o Tempo de Retorno deve respeitar os valores mínimos discriminados na tabela 6, adaptada da mesma resolução.

Tabela 6 – Valores mínimos para Tempo de Retorno.

Localização	T <sub>R</sub> (anos)
Zona Rural	25
Zona Urbana ou de Expansão Urbana	100

Fonte: DAEE (2007)

Com base nas orientações técnicas adotou-se Tempo de Retorno de 100 anos para aplicação nos modelos hidrológicos.

#### 4.6. Tempo de Concentração

O tempo de concentração da bacia é o tempo necessário para que toda a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada.

As características fisiográficas que influem principalmente no tempo de concentração são a área da bacia, o comprimento e a declividade do canal mais longo e o comprimento ao longo do curso principal, desde o centro da bacia até a seção de saída considerada.

O tempo de concentração ( $t_c$ ) não é constante para uma dada área, mas varia com o estado de recobrimento vegetal e a altura e distribuição da chuva sobre a bacia.

De uma maneira geral, o tempo de concentração de uma bacia qualquer depende de parâmetros como: área da bacia; comprimento e declividade do canal mais longo; forma da bacia; declividade média dos terrenos; rugosidade do canal; e recobrimento vegetal. Diversas equações empíricas vêm sendo empregadas para avaliação do tempo de concentração. Neste estudo utilizou-se a equação do “*California Culverts Practice*”, utilizada como limite superior para o tempo de concentração segundo o item 1.1.4. da Instrução DPO N° 002, de 30/07/2007, apresentada a seguir:

$$t_c = 57 \cdot \left( \frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385}$$

Onde:

$t_c$  = Tempo de concentração, em minutos;

$L$  = Comprimento do talvegue do curso d'água, em quilômetros

$I_{eq}$  = Declividade, equivalente ou média, em m/km;

#### 4.7. Intensidade da chuva de projeto

É definida como sendo a altura de chuva (quantidade) que cai num determinado intervalo de tempo, para uma dada frequência e com uma duração igual ao tempo de concentração.

O cálculo das intensidades das precipitações é feito pela análise estatística de série histórica de dados pluviométricos relativos à região em estudo. Informações de longos períodos possibilitam considerar uma frequência como probabilidade, permitindo a confecção das “Curvas I-D-F”, que correlacionam as três características principais das precipitações: intensidade, duração e frequência.

Segundo o item 1.5 da Instrução Técnica DPO nº 002 as equações de chuva intensa, devem ser aceitas ou publicadas pelo DAEE. Na publicação Chuvas Intensas do Estado de São Paulo (MARTINEZ JR. & MAGNI, 1.999), último documento acerca do assunto publicado pelo DAEE, não há equação proposta para o município de São Carlos. Adotou-se a curva IDF para o município de São Carlos proposta por Barbassa (1991) presente no software ABC-DAEE. A equação é apresentada abaixo:

$$i = \frac{25,330 \times T_R^{0,236}}{(t + 16)^{0,935}}$$

Em que:

$i$  = Intensidade de chuva, em mm/min;

$t$  = Tempo de duração da chuva, em minutos;

$T_R$  = Período de retorno, em anos;

#### 4.8. Escoamento Superficial Direto

Segundo o item 1.1.3. da Instrução DPO N° 002, de 30/07/2007, os valores mínimos aceitos para coeficientes/parâmetros de escoamento superficial encontram-se na tabela 7, adaptada da própria Instrução.

Tabela 7 – Valores mínimos para coeficiente/parâmetros de escoamento superficial.

<b>Coeficiente/Parâmetro</b>	<b>Valor Mínimo</b>
Coeficiente de Escoamento Superficial Direto (C) - Método Racional	0,25
Coeficiente de Escoamento Superficial Direto (C2) - Método I Pai Wu Modificado	0,25
Número de Curva (CN) - Método do SCS	0,5

Fonte: DAEE (2007).

#### 4.9. Uso e ocupação do solo

Os dados de uso e ocupação do solo utilizados são os mesmos gerados por Decina (2012) com o software ArcGIS 9.3 através da vetorização manual da imagem de satélite do dia 2 de junho de 2011, obtida através do satélite World View 2. Os dados foram obtidos em formato .shp, permitindo o tratamento dos mesmos.

A classe “Área Urbana” compreende os loteamentos urbanos ocupados e vias pavimentadas, já “Terrenos baldios e demais espaços abertos” são compostos por áreas rurais com solo exposto e terrenos baldios urbanos. A classe “Floresta” é composta por matas ciliares, fragmentos florestais e áreas ocupadas por silvicultura. O item “Pastagem” refere-se às áreas de pasto e “Agricultura” às lavouras. O ordenamento “Parques e Canteiros” é formado por praças, parques e canteiros centrais de avenidas e rotatórias. (Decina, 2012).

A tabela 8 foi extraída de Decina (2012) e exhibe as área correspondentes a cada classe de uso e ocupação do solo.

Tabela 8 – Área e porcentagem correspondente às classes de uso e ocupação do solo.

<b>Classe de uso do solo</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Parques e canteiros	400.887	2,3
Terrenos baldios e demais espaços abertos	2.801.336	16,06
Área urbana	8.453.181	48,46
Agricultura	694.977	3,98
Floresta	1.948.072	11,17
Pastagem	3.144.028	18,03
<b>Total</b>	<b>17.442.248</b>	<b>100</b>

Fonte: Decina (2012).

O figura 11 foi elaborada a partir dos dados fornecidos por Decina e apresenta o uso e ocupação para a área de estudo.

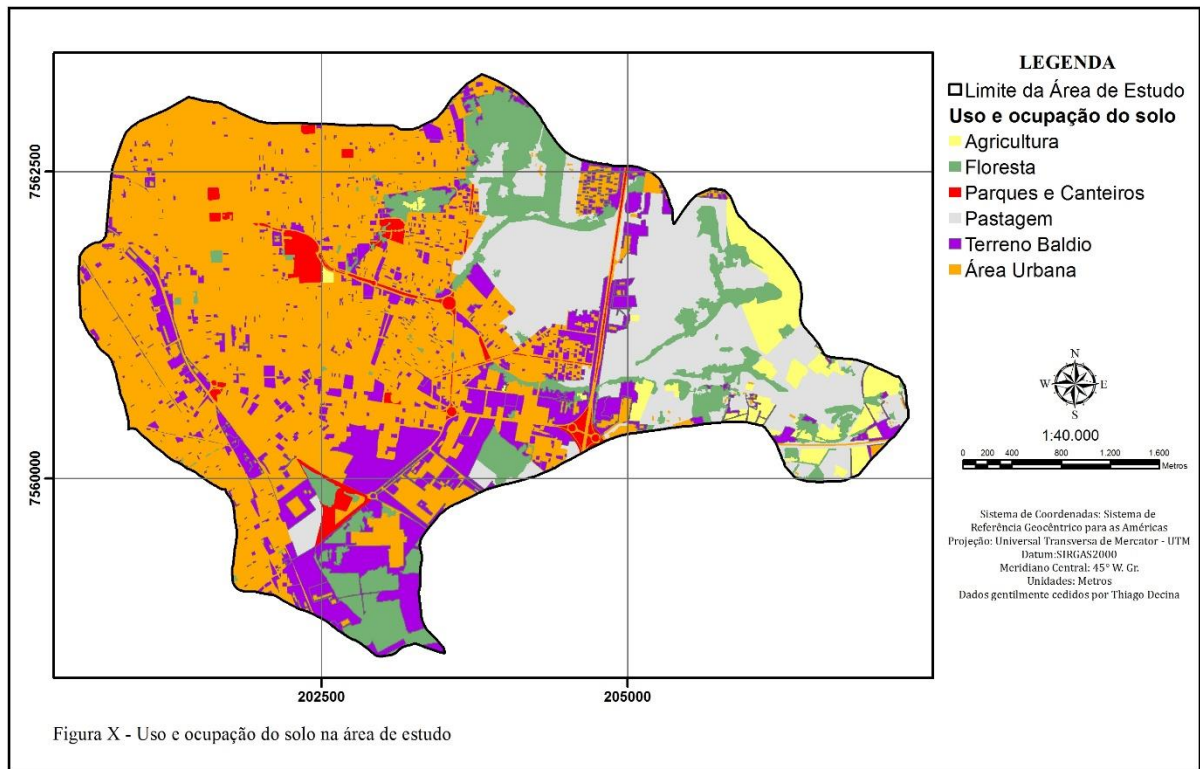


Figura 11 – Uso e ocupação do solo na área de estudo.



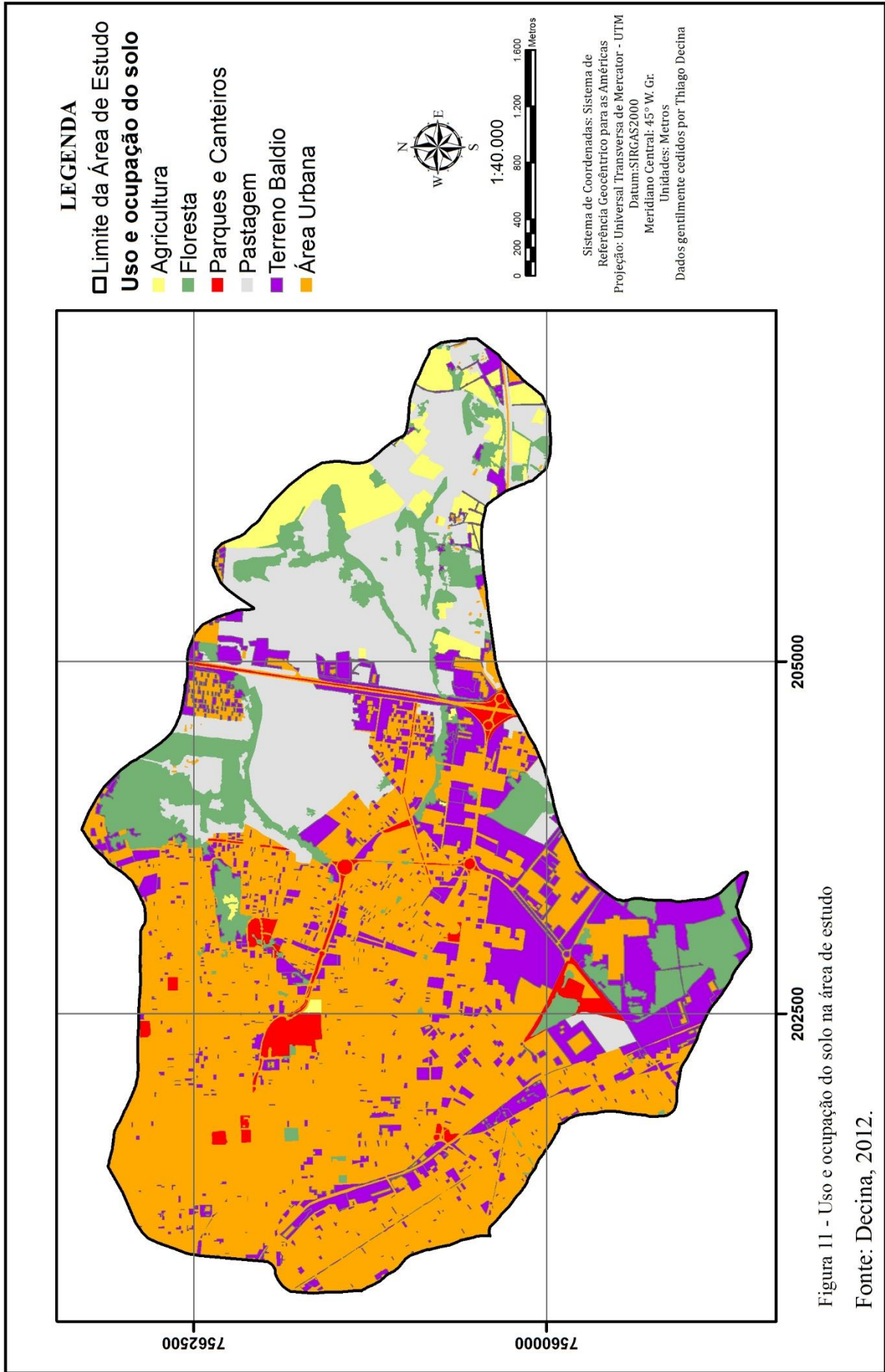


Figura 11 - Uso e ocupação do solo na área de estudo  
 Fonte: Decina, 2012.

Os métodos hidrológicos adotados utilizam diferentes parâmetros para avaliar as características do solo, os parâmetros para cada método estão descritos a seguir.

#### 4.9.1. I-Pai-Wu

Os valores para Coeficiente de Deflúvio ( $C_2$ ) adotados nesse estudo seguem os valores sugeridos por DAEE (2012) contidas na tabela 1. Destaca-se que mesmas classes podem ter valores diferentes de  $C_2$  dependendo da sub-bacia em que se encontra. Tal fato se deve ao uso e ocupação do solo na região em questão, por exemplo a sub bacia 1 apresenta menos urbanização do que a sub bacia 5, localizada na região central da cidade de São Carlos. A tabela a seguir expõe os valores de  $C_2$  adotados para cada classe em cada sub-bacia.

Tabela 9 – Valore de  $C_2$  adotados para cada sub-bacia

Classe	Sub-Bacias						
	1	2	3	4	5	6	7
Agricultura	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Área urbana	0,5	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,9
Floresta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Parques	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pastagem	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Terrenos baldios	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Já a próxima tabela exhibe a área, a porcentagem relativa a cada classe de uso e ocupação do solo e o valor de  $C_2$  equivalente a cada sub-bacia.

Tabela 10 – Área, porcentagem relativa a cada classe de uso e ocupação do solo e o valor de  $C_2$  equivalente a cada sub-bacia adotada.

Sub-bacia	Agricultura (%)	Área urbana (%)	Floresta (%)	Parques (%)	Pastagem (%)	Terrenos baldios (%)	Área Total (m <sup>2</sup> )	$C_2$
1	22,92	2,24	19,11	0,00	50,59	5,14	1.597.795	0,378
2	20,21	0,94	17,47	0,00	59,83	1,55	1.349.366	0,390
3	1,28	36,89	6,76	2,03	24,65	28,38	3.048.575	0,536
4	0,00	17,36	19,40	1,37	48,23	13,63	1.257.506	0,417
5	0,00	79,45	0,54	2,73	0,00	17,28	676.647	0,646
6	0,61	49,12	29,75	1,89	6,69	11,93	1.620.552	0,470
7	0,12	72,37	5,92	3,20	0,89	17,51	7.894.556	0,753
Total	3,98	48,46	11,17	2,3	18,03	16,06	17.444.996,82	0,598

Adaptado de Decina (2012).

A figura a seguir relaciona o valor de  $C_2$  a cada sub-bacia utilizada neste estudo.

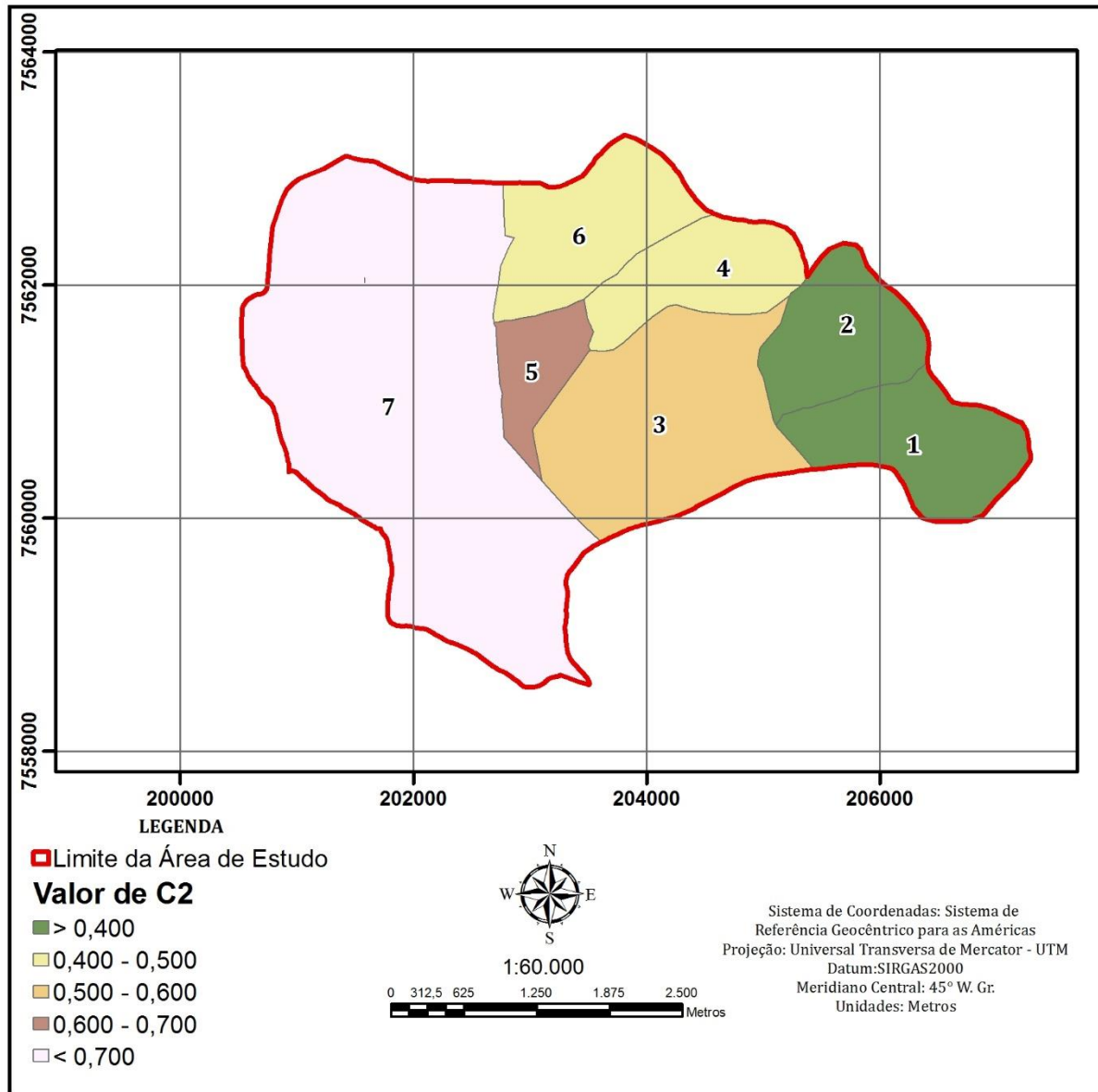


Figura 12 - Faixas de valor de  $C_2$  para a área de estudo

#### 4.9.2. SCS

Os valores de CN para esta modelagem foram adaptados de Decina (2012) a partir de duas tabelas que continham as áreas de cada sub-bacia e o CN equivalente adotado. Foi utilizado o “Cenário 1 – Atual” para o cálculo, os valores resultados encontram-se disposto na tabela 11.

Tabela 11 – CN equivalente para cada sub-bacia adotada.

Sub-bacia	1	2	3	4	5	6	7
CN	66,51	62,99	78,15	70,21	90,50	78,85	87,81

A figura a seguir dispõe o valor de CN para cada sub-bacia analisada neste documento.

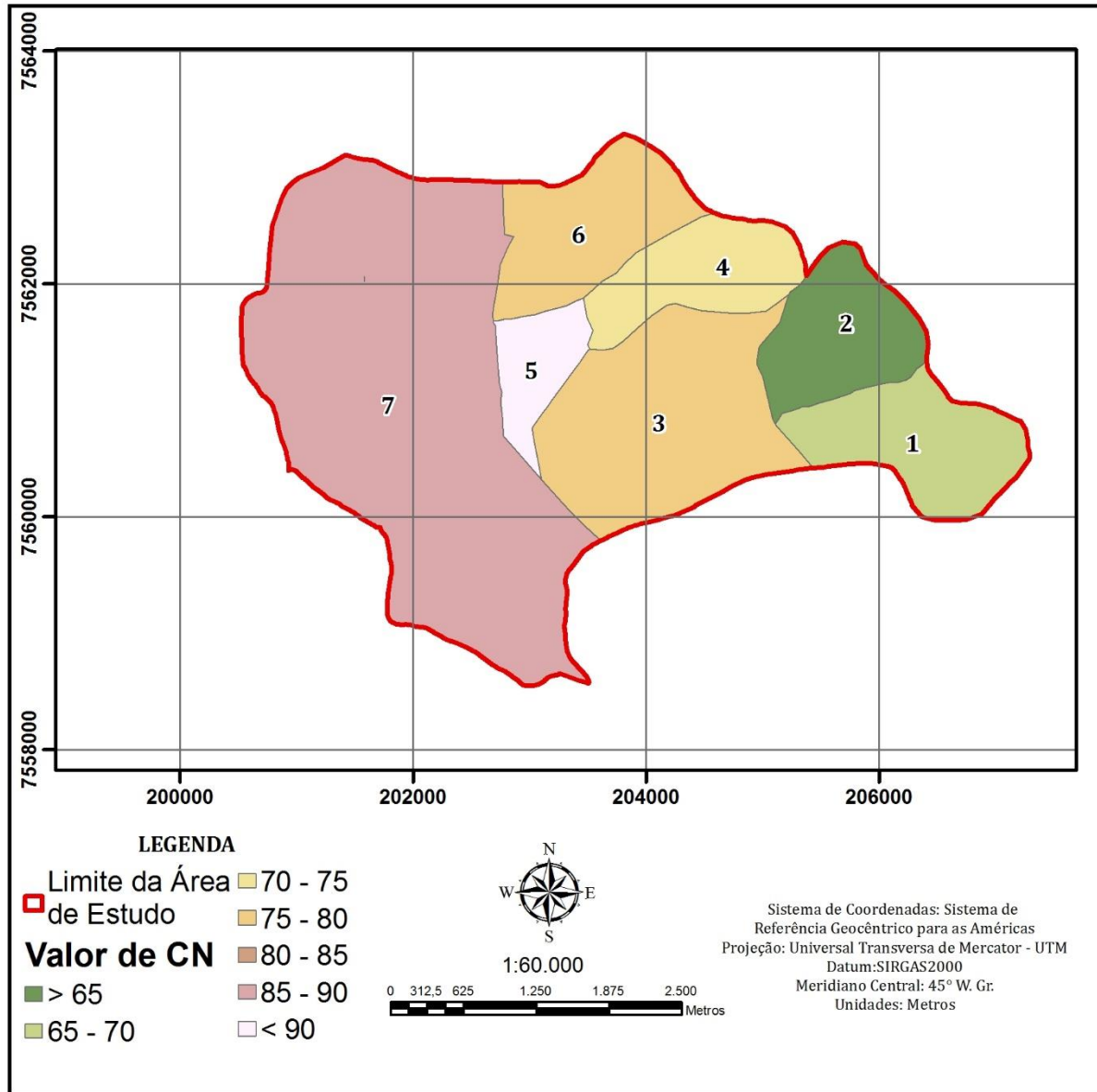


Figura 13 - Faixas de valor de CN para a área de estudo

## Área Impermeável

Como mencionado anteriormente, a classe “Área Urbana” é composta pelos loteamentos ocupados e as vias pavimentadas. Os dados obtidos contém informações acerca da caracterização da área como diferenciação entre vias e loteamentos, o nome do bairro e amostras de área de lote. A partir dessas informações procedeu-se a subclassificação da classe “Área Urbana”, além da análise da área média dos lotes por sub-bacia.

A classe “Pavimentado” compreende área com vias pavimentadas, enquanto as “Área Urbana Isolada”, “Área Comercial” e “Área Industrial” são compostas por área ocupadas por urbanizações isoladas, comércio e indústrias, respectivamente. Já o item “Bairro” corresponde às áreas ocupadas por bairros e é alvo da análise de lote médio.

Os valores obtidos encontram-se na tabela 12.

Tabela 12 – Diferentes uso e ocupação do solo para a classe “Área Urbana” e lotes médios para as sub-bacias adotadas.

Sub-bacia	Área Urbana (m <sup>2</sup> )	Pavimentado (%)	Área Urbana Isolada (%)	Área Comercial (%)	Área Industrial (%)	Bairro (%)	Lote Médio (m <sup>2</sup> )
1	35.785	54,70	45,30	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12.682	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	184,50
3	1.124.411	6,43	1,56	0,00	32,30	59,70	313,56
4	218.303	8,57	0,00	0,00	10,56	80,88	276,38
5	537.525	0,00	0,00	0,00	10,44	89,56	279,06
6	795.917	1,33	0,00	0,00	0,00	98,67	359,89
7	5.712.334	0,34	2,07	6,63	7,60	83,36	306,97

As porcentagens da área impermeável diretamente conectada (AIDC), área impermeável não conectada (AINC) e área permeável (AP) foram baseadas no artigo técnico de Garotti e Barbassa (2010) e no estudo de Garotti, Imoto e Barbassa (2007). A tabela 13 adaptada das fontes referidas contém as porcentagens almejadas para diferentes tipos de uso do solo na cidade de São Carlos.

Tabela 13 - Valores percentuais de AIDC, AINC e AP.

Estrato	AIDC (%)	AINC (%)	AP (%)
Uso Industrial/Comercial	76,8	8,8	14,4
Uso Misto/Outros	84,9	7,8	7,2
Residencial $\leq 125 \text{ m}^2$	94,3	0,2	5,5
$125 < \text{Residencial} \leq 200 \text{ m}^2$	72,6	14,7	12,7
$200 < \text{Residencial} \leq 300 \text{ m}^2$	87,7	6,2	6,1
$300 < \text{Residencial} \leq 400 \text{ m}^2$	81,8	10,5	7,6
$400 < \text{Residencial} \leq 600 \text{ m}^2$	74,3	15	10,6
$600 < \text{Residencial} \leq 1200 \text{ m}^2$	60,8	30,8	8,5
Residencial $> 1200 \text{ m}^2$	72,5	20,3	7,1

Adaptado de Garotti e Barbassa (2010) e Garotti, Imoto e Barbassa (2007).

Adotou-se a pavimentação como área impermeável diretamente conectada e a área média dos lotes como constante para obter as porcentagens da AIDC, AINC e AP. Os valores obtidos encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 – Porcentagem de AIDC, AINC e AP para as sub-bacias adotadas.

Sub-bacia	Área Total ( $\text{m}^2$ )	AIDC (%)	AINC (%)	AP (%)
1	1.597.543	2,09	0,08	97,83
2	1.349.153	0,68	0,14	99,18
3	3.048.095	30,03	3,41	66,56
4	1.257.308	15,21	1,03	83,76
5	676.540	68,78	5,14	26,08
6	1.620.297	40,30	5,09	54,61
7	7.893.312	58,77	8,86	32,37

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Talvegue

As figuras 9 a 15 mostram o perfil talvegue de cada sub-bacia hidrográfica adotada.

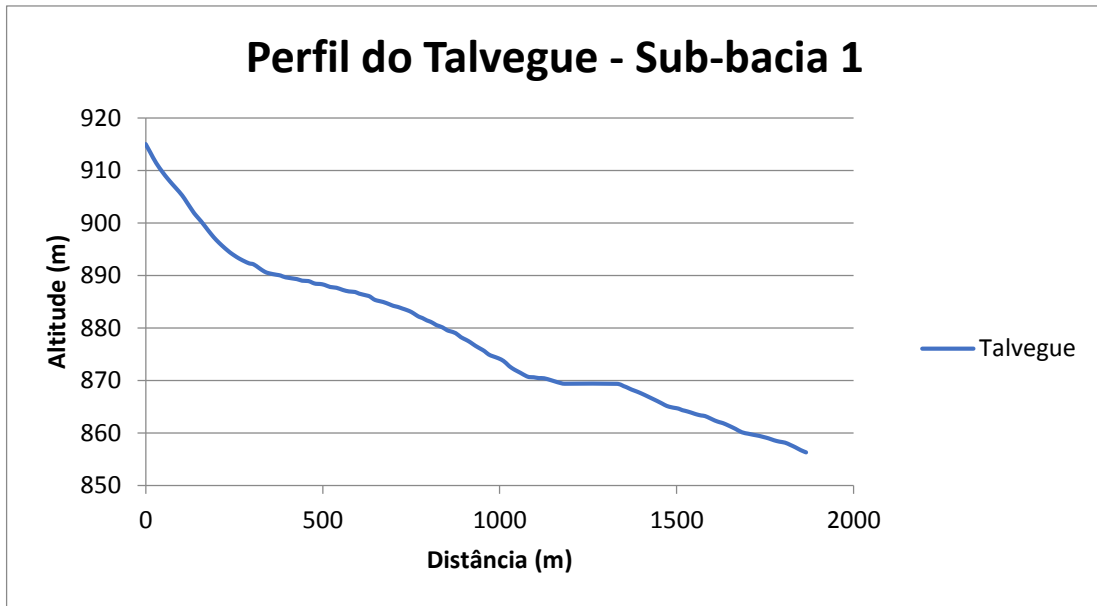


Figura 14 – Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 1.

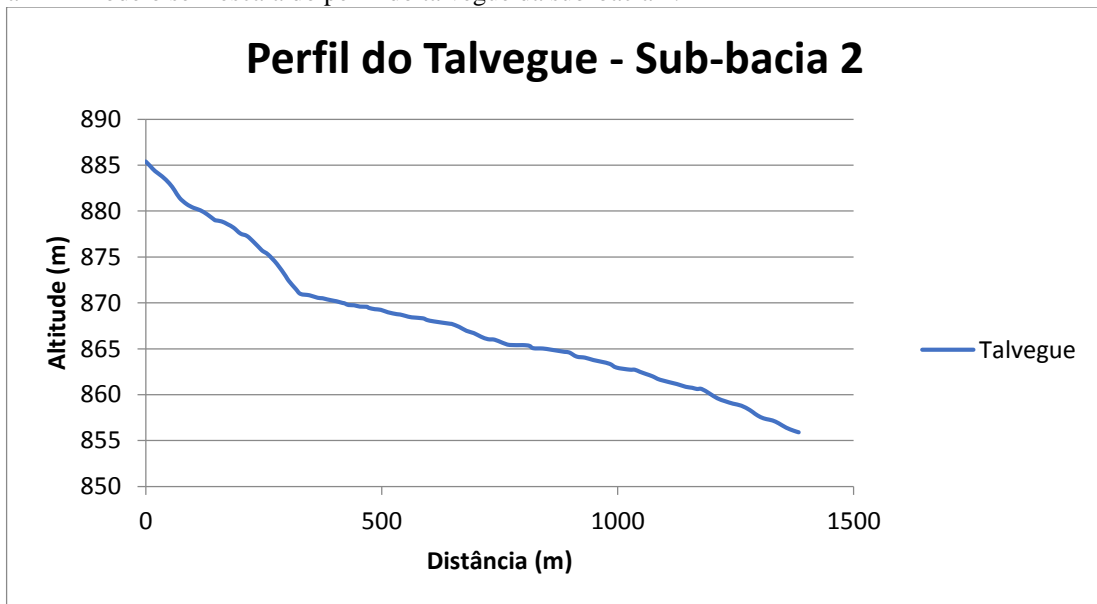


Figura 15 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 2.



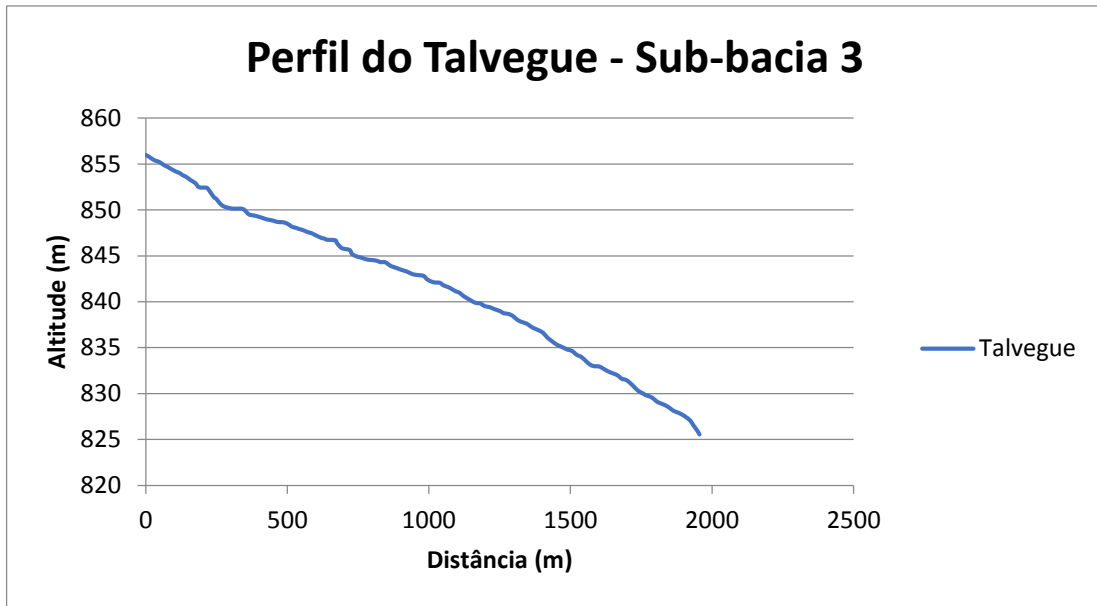


Figura 16 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 3.

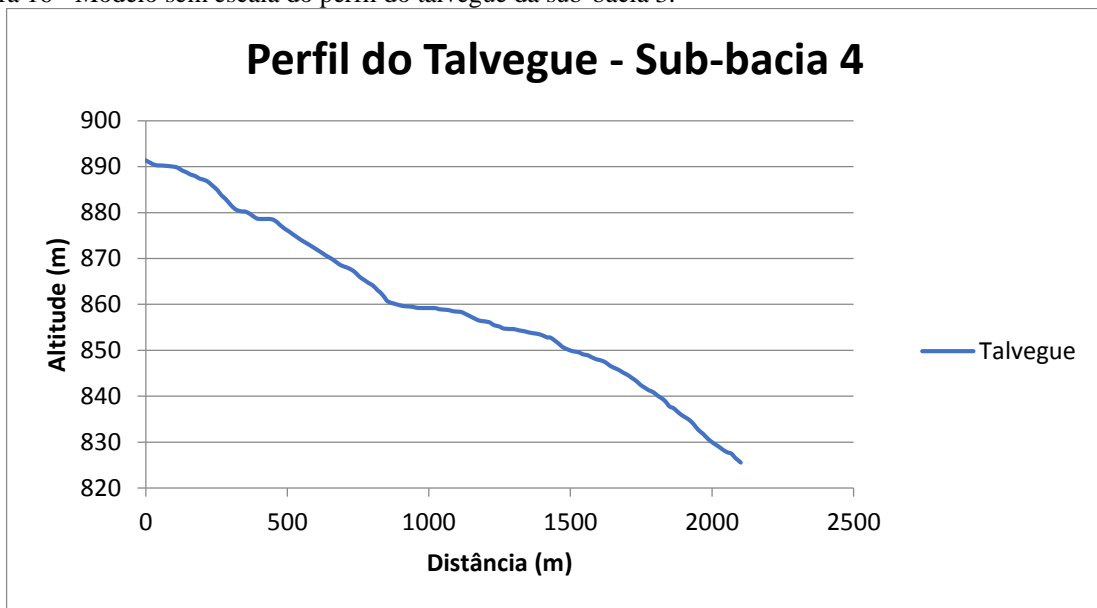


Figura 17 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 4.

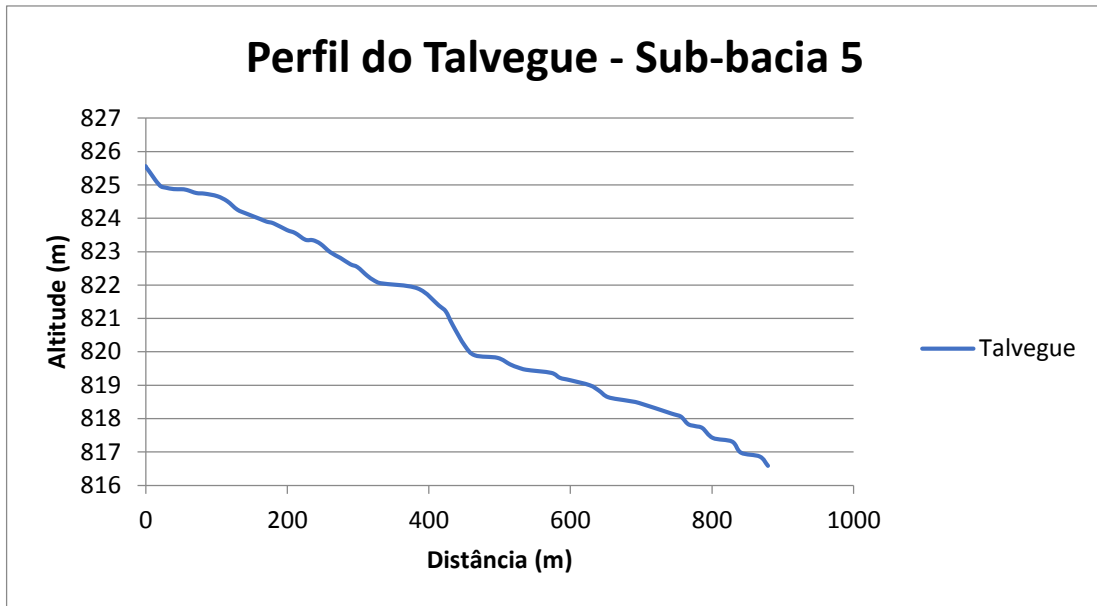


Figura 18 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 5.

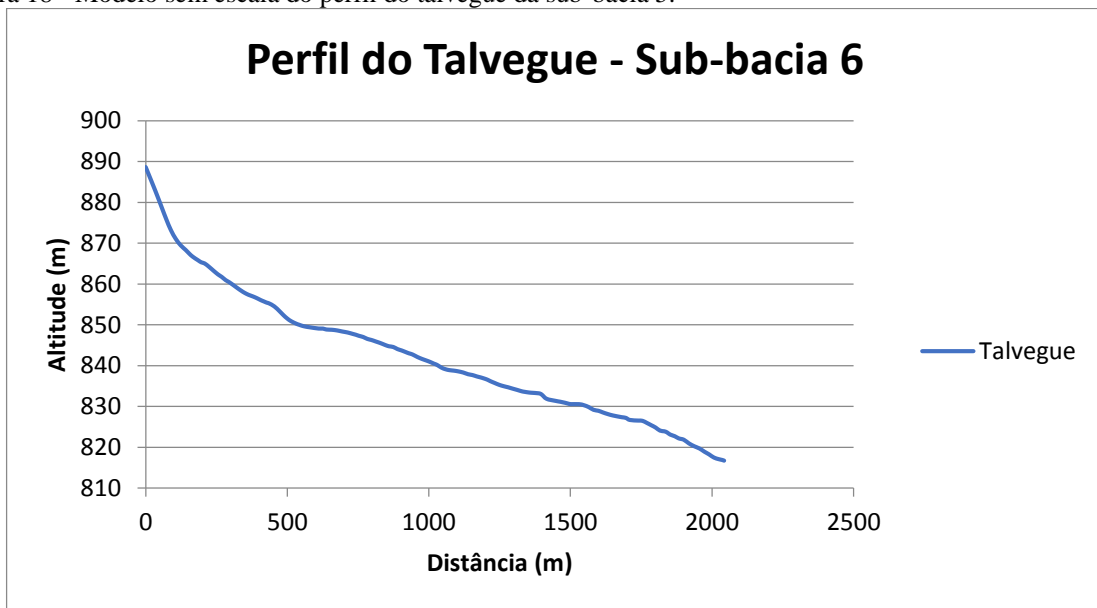


Figura 19 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 6.

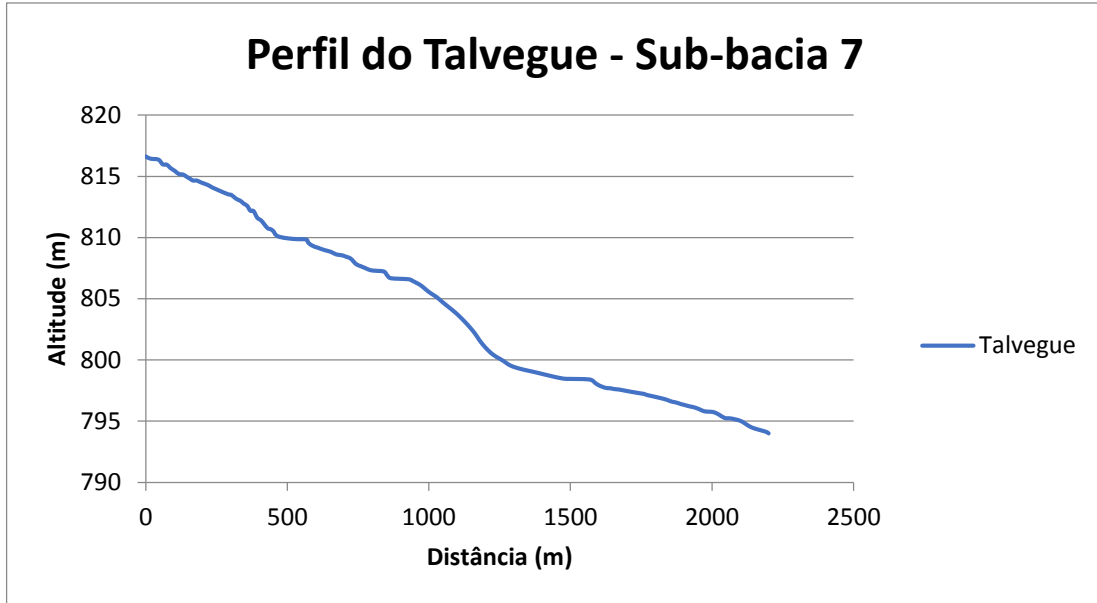


Figura 20 - Modelo sem escala do perfil do talvegue da sub-bacia 7.

A tabela 15 contém o comprimento do talvegue e a declividade equivalente de cada sub-bacia.

Tabela 15 – Comprimento do talvegue e declividade equivalente das áreas adotadas

Sub-Bacia	L (m)	I eq (m/km)
1	1865,69	2,62
2	1383,69	3,06
3	1956,33	3,05
4	2102,12	3,74
5	879,10	2,45
6	2042,50	4,25
7	2200,51	2,26
Avaliação 1	6901,64	2,57

## 5.2. Tempo de Concentração

A tabela 16 exibe o tempo de concentração de cada sub-bacia presente nesse estudo.

Tabela 16 – Tempo de Concentração, em minutos, para as sub-bacias adotadas

Sub-Bacia	Tempo de Concentração (min)
1	63,6
2	47,6
3	62,2
4	60,8
5	36,6
6	56,6
7	76,4
Avaliação 1	175,4

## 5.3. Intensidade da Chuva de projeto

Com base nos tempos de concentração das sub-bacias foi adotado o maior tempo de concentração encontrado, para a avaliação 1 o tempo de duração de chuva estabelecido foi de 180 minutos, valor adotado neste estudo. A intensidade da chuva de projeto resultante é de 0,54 mm/min (32,40 mm/h).

## 5.4. Avaliações

### 5.4.1. Avaliação 1

Coeficiente de deflúvio

Com os valores da área da bacia, do comprimento do talvegue e do coeficiente volumétricos de escoamento é possível calcular o coeficiente de deflúvio da área de estudo através das equações apresentadas. A aplicação das equações encontra-se a seguir.

$$F = \frac{6,90164}{2 \cdot (17,45 / \pi)^{1/2}} = 1,4642$$

$$C_1 = \frac{4}{2 + 1,4642} = 1,1547$$

$$C = \frac{2}{1 + 1,4642} \cdot \frac{0,598}{1,1547} = 0,4203$$

### Coeficiente de distribuição espacial da chuva

Segundo o gráfico extraído do manual “Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “I-Pai-Wu”, contido na figura 4 da seção 3.3.1. deste presente estudo o coeficiente de distribuição espacial da chuva equivale a aproximadamente 98%, sendo esse o valor adotado.

### Vazão de Projeto

A partir dos dados apresentados ao longo deste estudo foi aplicada a formulação básica do método I-Pai-Wu modificado para obtenção da vazão de projeto. A aplicação encontra-se demonstrada a seguir.

$$Q_p = 0,278 \cdot 0,4203 \cdot 32,40 \cdot 17,45^{0,9} \cdot 0,98 = 48,642 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 5.4.2. Avaliação 2

Ao inserir os dados no software ABC-DAEE, conforme descrito por DAEE (2012), esperava-se as variáveis que deveriam ser calculadas automaticamente, como velocidade do canal, coeficiente de amortecimento e tempo de trânsito de cheia, não apresentaram valores. Para tal

utilizou-se os valores apresentados pelo software ABC6 ao configurar o modelo. Os valores adotados encontram-se na tabela 17.

Tabela 17 - Valores adotados nas Avaliações 2, 3 e 4.

Sub-Bacia	Avaliação 2, 3 e 4		
	Tempo de Transito de Cheia (h)	Coefficiente de Amortecimento	Velocidade - Sub-bacia (m/s)
1	0,71	0,00	0,73
2	0,53	0,00	0,73
3	0,69	0,00	0,79
4	0,87	0,00	0,67
5	0,41	0,00	0,6
6	0,63	0,00	0,91
7	0,85	0,00	0,72

Outra peculiaridade do software reside na impossibilidade de alterar o tempo de duração da chuva de projeto, esse fixado como o tempo de concentração. O valor obtido para vazão de projeto foi 92,958 m<sup>3</sup>/s. A figura a seguir foi gerada através do software ABC-DAEE e apresenta o hidrograma fruto desta modelação.

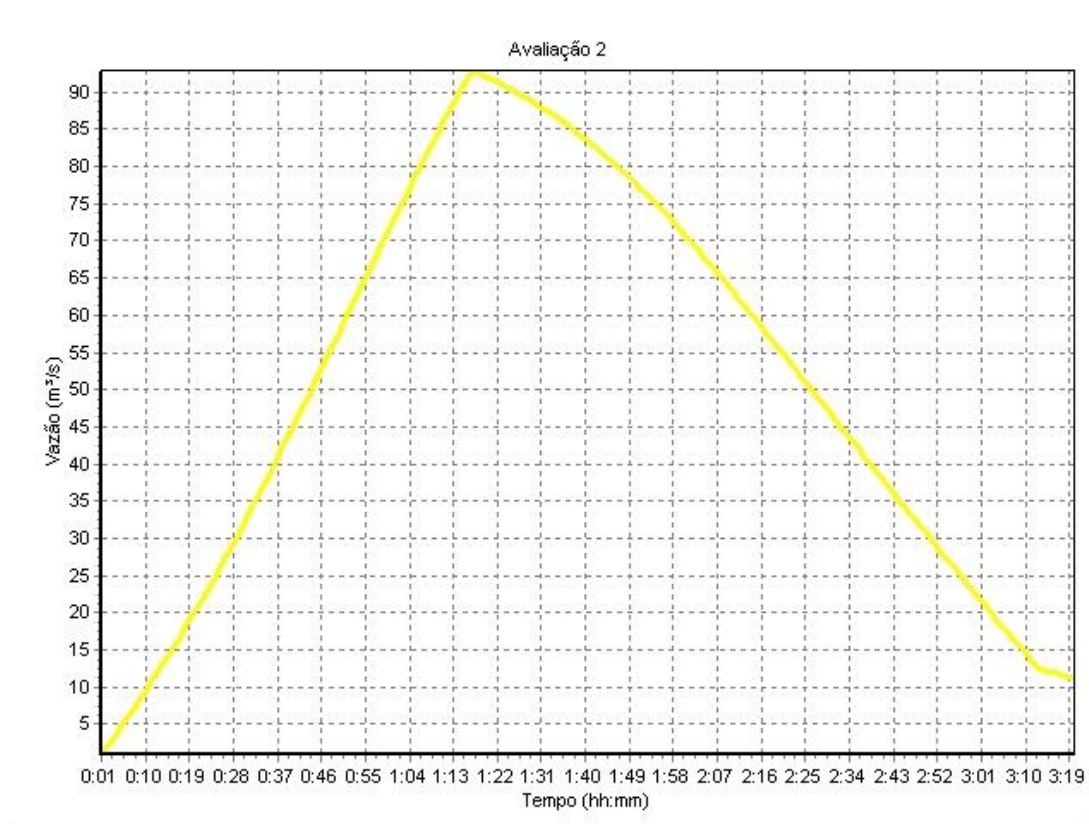


Figura 21 – Hidrograma da Avaliação 2

### 5.4.3. Avaliação 3

Neste estudo foram constatados os mesmos problemas indicados anteriormente na utilização do software ABC-DAEE, com exceção do tempo de duração da chuva de projeto. Ademais a vazão de projeto encontrada utilizando essa metodologia foi 31,28 m<sup>3</sup>/s. O hidrograma gerado pelo software encontra-se na figura a seguir.

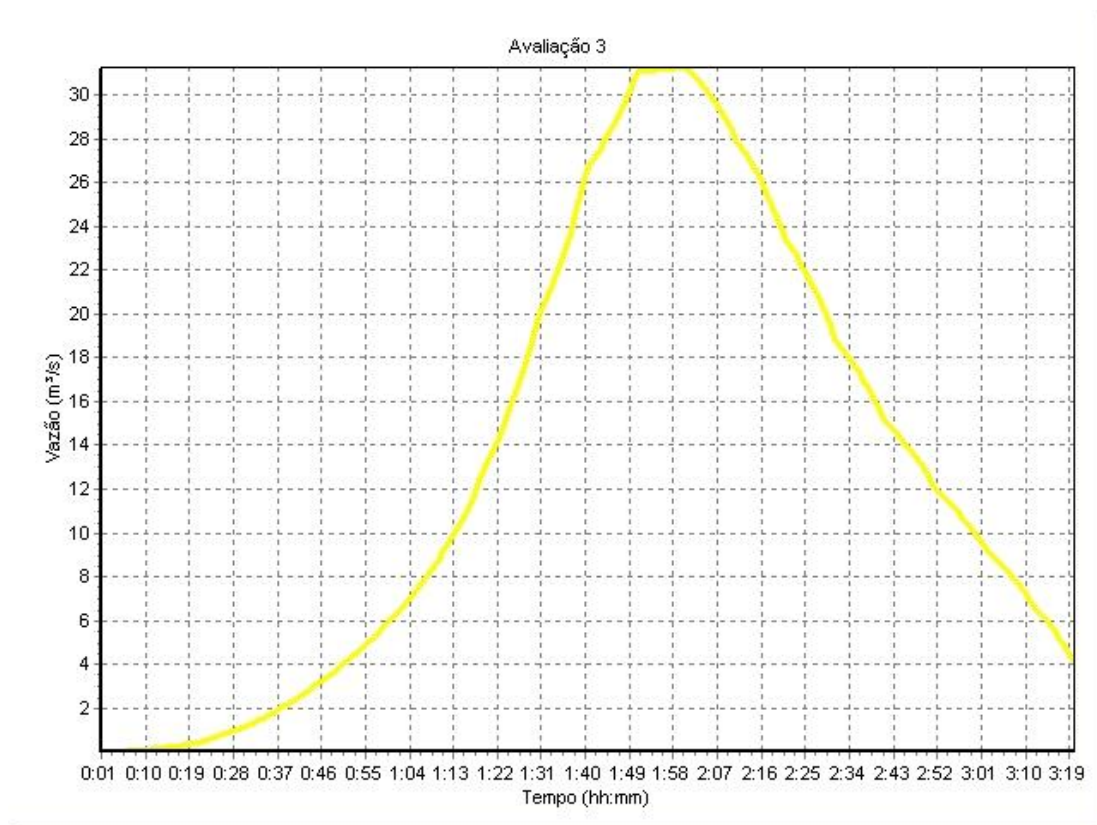


Figura 22 – Hidrograma do Avaliação 3.

### 5.4.4. Avaliação 4

Ao inserir os dados, o software ABC6 funcionou adequadamente gerando os valores das variáveis mencionadas anteriormente. O resultado da modelação utilizando esse software para a vazão de projeto foi 31,278 m<sup>3</sup>/s e o hidrograma correspondente encontra-se na figura a seguir.

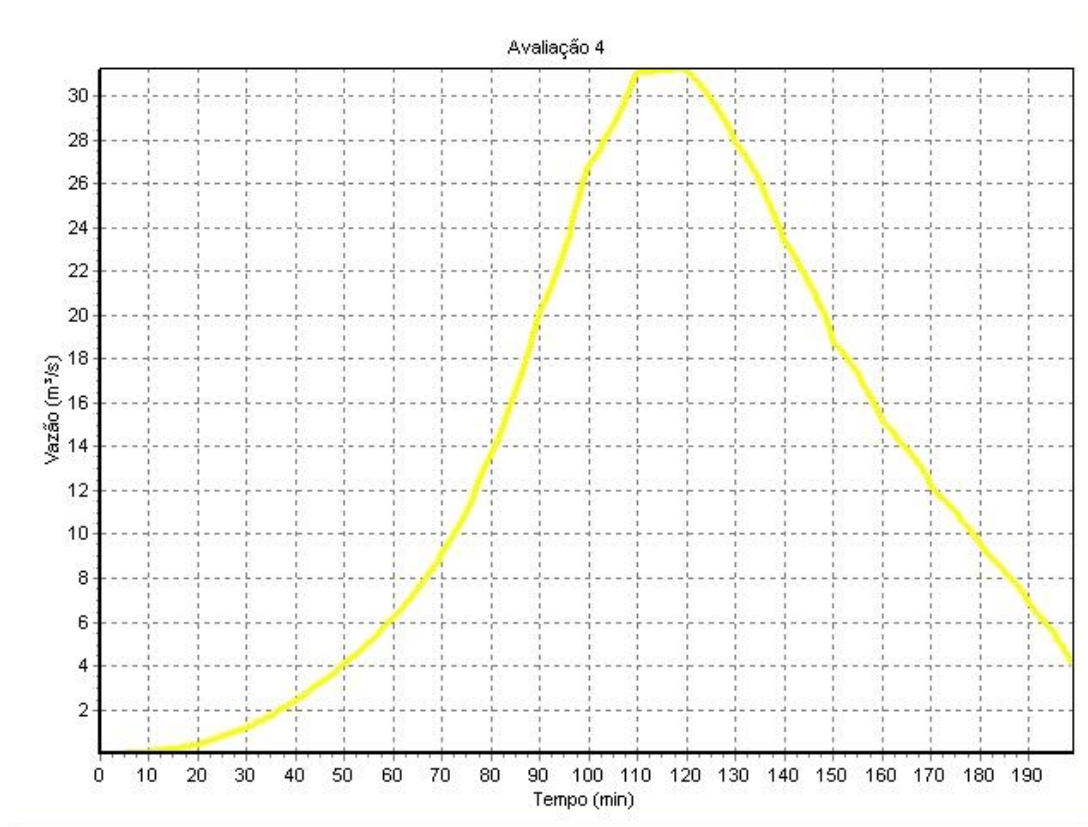


Figura 23 – Hidrograma do Avaliação 4.

#### 5.4.5. Outros resultados para a área

A área é objeto de diversos estudos visando a modelação hidrológica, ou seja, existe um histórico de vazões de pico da região, conforme mencionado anteriormente na seção 3.5.1.. Tendo em vista que a área analisada neste estudo não compreende a microbacia do Córrego do Gregório em sua totalidade, foi utilizado apenas o estudo de Decina (2012) para comparação e discussão.

Graziaira (2010) obteve a vazão de pico com tempo de retorno de 100 anos para a foz da microbacia do Córrego do Gregório, o valor obtido foi de 326,6 m<sup>3</sup>/s.

Destaca-se que tal estudo é recente e utiliza diversos dados de entrada adotados na presente análise. Os parâmetros de escoamento superficial são sensíveis, influenciando de maneira determinante no resultado dos modelos. Desta maneira a comparação com Decina (2012) mostra-se plausível.



A tabela a seguir mostra os valores obtidos pra vazão de projeto nos modelos adotados e o percentual desta vazão em relação a vazão obtida por Decina (2012).

Tabela 18 – Valores de vazão de projeto analisados.

<b>Modelos</b>	<b>Vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Porcentagem em relação a Decina (2012) (%)</b>
Avaliação 1	48,6	18,79
Avaliação 2	92,96	35,93
Avaliação 3	31,28	12,09
Avaliação 4	31,28	12,09
Cenário 1 (Decina, 2012)	258,7	100

Todas as vazões obtidas nesse estudo encontram-se muito abaixo da vazão simulada por Decina (2012). A utilização destas vazões indicaria a viabilidade ambiental dos projetos, mascarando a realidade e resultando em obras sub dimensionadas. A figura jurídica da outorga é de licença com caráter discritório, ou seja, cabe ao órgão facultar a autorização mesmo com todas as exigências legais atendidas.

Comparando com Decina (2012) os valores obtidos utilizando a método I-Pai-Wu Modificado são relativamente baixos, sendo que nenhum modelo apresenta vazão na ordem de um terço da obtida por Decina (2012). A Avaliação 1 apresentou vazão muito abaixo do parâmetro de comparação adotado neste estudo, sendo esta metodologia desaconselhável, tendo como parâmetro a microbacia do Córrego do Gregório.

A Avaliação 2 apresentou o resultado mais próximo do valor obtido por Decina (2012), tal fato se deve ao tempo de duração de chuva de projeto, inversamente proporcional à intensidade de chuva de projeto, que por sua vez é diretamente proporcional à vazão de projeto.

As Avaliações 3 e 4 utilizaram o método SCS através de softwares diferentes, ABC-DAEE e ABC6, respectivamente, apresentaram o mesmo resultados. Destaca-se que os parâmetros de entrada em ambos os modelos foram os mesmos. Os resultados obtidos nessas simulações foram inferiores aos outros modelos, porém com tempo de duração de chuva menores a intensidade de chuva de projeto tende a elevar seu valor, conseqüentemente aumentando o valor da vazão de projeto.

Destaca-se que todos os modelos partiram das mesmas informações de uso e ocupação do solo e geraram resultados substancialmente diferentes. Observando os modelos com tempo de

duração de chuva fixado em 180 minutos, o método I-Pai-Wu mostra-se mais recomendável. Com a intensidade de chuva de projeto variando há a possibilidade de outras metodologias mostrarem-se mais adequadas.

A área adotada apresenta um extenso histórico de pesquisas, fato não recorrente ao longo de outras microbacias hidrográficas urbanizadas do estado de São Paulo, evidenciando a importância de estudos mais aprofundados para basear a outorga de pequenas obras hidráulicas.

Assumindo que o empreendedor visa sempre o menor gasto econômico, dificilmente será realizado outro estudo hidrológico para a área, sendo que o valor obtido utilizando os métodos recomendados será utilizado no projeto. Tendo em vista a morosidade dos processos de outorga e a ânsia do empreendedor pela realização da obra deve-se adotar normas mais precisas para os pedidos de outorgas, evitando assim conflitos, entraves e indisposição de ambas as partes.

## 6. Conclusão

O uso e ocupação da área de estudo é comum a diversos municípios do estado de São Paulo, sendo o exemplo plausível para estudo de caso. Com os resultados das simulações apresentando grande diferença entre si é notável que quanto maior o detalhamento melhor a resposta obtida.

A microbacia hidrográfica do Córrego do Gregório é objeto de diversos estudos, apresentando uma grande série de estudos visando a modelação hidrológica do local, fator não recorrente em outras localidades.

Ao comparar os resultados obtidos com outros estudos a diferença obtida é substancial, sendo que em alguns casos a diferença é de mais de cinco vezes. É notável que os métodos propostos neste estudo apresentaram vazões menores do que estudo recente elaborado por Decina (2012).

A questão ambiental ainda é tratada com certo descaso por muitos empreendedores, sendo apenas uma fonte de gastos econômicos. A utilização de estudos hidrológicos seguindo as normas propostas pelo DAEE para dimensionamento de estruturas é possível, tendo em vista que quanto maior o detalhamento do estudo maiores os gastos.

Reside no caráter discritório da outorga a segurança para o uso racional e sustentável dos recursos hídricos, tendo em vista que os modelos elaborados neste presente estudo seguiram normas pré-definidas pelo DAEE. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que utilizando o mesmo método é possível obter-se valores substancialmente diferentes. A possibilidade de manipulação dos valores de vazão de projeto por parte do empreendedor, mesmo utilizando as normas impostas, é real.

É necessário uma revisão na regulamentação, propondo-se metodologias mais precisas para melhor detalhamento e conseqüentemente melhor planejamento por todas as partes envolvidas. Com o advento de softwares integrados a SIGs é possível a construção de modelos mais detalhados e conseqüentemente mais precisos. As pesquisas realizadas na área da microbacia do Córrego do Gregório apresentam exemplos de modelos mais adequados como HEC-RAS e HEC-HMS, utilizados por Graciera (2010) e Decina (2012).

Órgãos públicos responsáveis pelos processos ambientais carecem de corpo técnico para a análise dos processos. A elaboração de normas mais restritivas facilitaria o trabalho desses

funcionários, assim diminuindo o tempo gasto na análise de um projeto. Por vezes o tempo de análise estabelecido por lei é extrapolado gerando um problema de relacionamento entre os envolvidos. Tal fato fortalece a cultura de observar a área ambiental como um problema, apenas uma fonte de perdas econômicas.

## 7. Referência Bibliográficas

ALMEIDA, R. C. **Roteiro histórico sub-bacia do Córrego do Gregório**, 2000. Disponível em: <[http://www.cdcc.usp.br/CESCAR/Conteudos/05-05-07/ROTEIRO\\_HISTORICO.pdf](http://www.cdcc.usp.br/CESCAR/Conteudos/05-05-07/ROTEIRO_HISTORICO.pdf)>. Acesso em: 29 Abr. 2014.

ALMEIDA NETO, et al. **Análise dos componentes do balanço hídrico em uma bacia urbana experimental**. In: III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS CENTRO-OESTE, 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2004.

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

BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos, SP**. 1991. 327 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

BARROS, R. M. **Previsão de Enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na Bacia Escola do Córrego do Gregório**. 2005. 279 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BOLDRIN, R. S. **Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle: trecho da bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP**. 2005. 202 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BRASIL. **Constituição Federal da República 1988**. Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm)>. Acesso em: 02 de maio de 2014.

BRASIL. **Lei n.º 9.433, 8 de janeiro de 1997**. Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 02 de maio de 2014.

BRASIL. **Lei n.º 6.398, 31 de agosto de 1981.** Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/16938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm)>. Acesso em: 01 de maio de 2014.

BRASIL. **Decreto n.º 3.692, de 19 de dezembro de 2000.** Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3692.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3692.htm)>. Acesso em: 01 de maio de 2014.

BRASIL. **Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000.** Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm) >. Acesso em: 02 de maio de 2014.

BRASIL, **Código de Águas.** Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91582/codigo-de-aguas-decreto-24643-34>>. Acesso em 02 de maio de 2014.

BRASIL, **Decreto-Lei 2.848/1940.** Disponível em <[http://www.dji.com.br/codigos/1940\\_dl\\_002848\\_cp/cp267a285.htm](http://www.dji.com.br/codigos/1940_dl_002848_cp/cp267a285.htm)>. Acesso em: 01 de maio de 2014).

BRASIL, **Constituição de 1934.** Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao34.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao34.htm)>. Acesso em 02 de maio de 2014.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** 1ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão.** 2009. 219 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CONAMA, **Resolução 20/86.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>. Acesso em: 02 de maio de 2014.

DAEE, **Portaria 717/96, de 12 de dezembro de 1996**. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1996. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portaria%20daee\\_717.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portaria%20daee_717.pdf)>. Acesso em 04 de maio de 2014.

DAEE, **Instrução Técnica DPO Nº 001, de 30 de julho de 2007**. Departamento de Águas e Energia Elétrica: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT\\_DPO\\_001\\_atual\\_211212%20.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT_DPO_001_atual_211212%20.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2014.

DAEE, **Instrução Técnica DPO Nº 002, de 30 de julho de 2007**. Departamento de Águas e Energia Elétrica: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT\\_DPO\\_002\\_070730.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT_DPO_002_070730.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2014.

DAEE, **Instrução Técnica DPO Nº 003, de 30 de julho de 2007**. Departamento de Águas e Energia Elétrica: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT\\_DPO\\_003\\_070730.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT_DPO_003_070730.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2014.

DAEE, **Instrução Técnica DPO Nº 004, de 30 de julho de 2007**. Departamento de Águas e Energia Elétrica: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT\\_DPO\\_004\\_atual\\_211212%20.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/IT_DPO_004_atual_211212%20.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2014.

DAEE, **Elaboração de Material Didático e a Realização de Cursos de Capacitação nas Áreas de Outorga, Fiscalização e Cobrança Manual de Utilização do Modelo ABC-DAEE**. Departamento de Águas e Energia Elétrica: Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização, 2012. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras\\_Hidr%C3%A1ulic/manual\\_abcdae.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/manual_abcdae.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2014.

DAEE, **Evolução das Outorgas do Estado de São Paulo**. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2014. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=69%3Aevoluc%20ao-das-outorgas&catid=41%3Aoutorga&Itemid=30](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=69%3Aevoluc%20ao-das-outorgas&catid=41%3Aoutorga&Itemid=30)>. Acesso em 04 de maio de 2014.

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. 177 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

FARIAS, Talden. **Introdução ao Direito Ambiental**. – Belo Horizonte: Del Rey, 2009.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Hidrologia urbana – **Capacitação tecnológica e transferência de tecnologia em drenagem urbana**, 2003. Disponível em: <<http://www.fcth.br/public/cursos/praiagrande/1HidrologiaUrbana.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2014.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações**. 2010. 163 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HAGGET, P. e CHORLEY, R. J. **Modelos, Paradigmas, e a Nova Geografia. Modelos físicos e informações na Geografia**. (Chorley, R.J. e Haggett, P., Eds.). Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1-19, 1975.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acessado em 13/05/2014.

IBGE. **Mapas Temáticos**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/)>. Acessado em 15/04/2014.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A.P. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial**. Eng. Sanit. Ambient 2010, vol.15, n.1, pp. 19-28. 2010.

GAROTTI, L. M.; IMOTO, T. S.; BARBASSA, A. P. **Uso da área impermeabilizada diretamente conectada como base para estimação do coeficiente de escoamento superficial e comparação com outras estimativas**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais... São Paulo, 2007.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas: disciplina jurídica das águas doces**. São Paulo, SP, Ed. Atlas. 2ª edição, 2003

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande, Ed. UNIDERP, 2006. 908p.

MACHADO, E. S. **Modelo hidrológico determinístico para bacias urbanas**. 1981. 286 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.



MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica. Editora Perfil. 1ª Edição. 2005.

MARTINEZ JR. F.; MAGNI, N. L. G. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo, SP: DAEE, 1999.

MARTINS, L. G. B. **Determinação de parâmetros hidrológicos por técnicas de sensoriamento remoto em macrodrenagem urbana..** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MELO, G. K. R. M. M. de; MARACAJ, K. F. B.; DANTAS NETO, J.. **Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental**. In: *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XV, n. 100, maio 2012. Disponível em: <[http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php/?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=11606&revista\\_caderno=5](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11606&revista_caderno=5)>. Acesso em maio de 2014

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC-USP, Projeto REENGE, 1998. 819 p.

SÃO PAULO (Cidade). Superintendência de projetos e de obras. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “I-PAI-WU”**. São Paulo, SP: PMSP, 1999.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n.º 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>>. Acesso em: 03 de maio de 2014.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n.º 50.667, de 30 de março de 2006**. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2006/decreto-50667-30.03.2006.html>>. Acesso em: 03 de maio de 2014.

SÃO PAULO (Estado). **Guia prático para projeto de pequenas obras hidráulicas**. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. São Paulo, SP: DAEE, 2005.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo** Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos; Coordenadoria de Recursos Hídricos.. São Paulo, SP: SSRH/CRHi, 2011.

STRAHLER, A. N. (1957), *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. In: **Transactions of the American Geophysical Union** 8.(6): 913–920.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 669 p. 2ª Edição. Porto Alegre, 2005.

USDA – United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Technical Release 55. 2ª edição. Washington: NRCS, 1986. 164 p.

USDA – United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Hydrographs. In: \_\_\_\_\_. **National Engineering Handbook**. Washington: NRCS, 2007. cap 16.

ANEXO A – Valores de CN para diferentes tipos de uso do solo (USDA,  
1986 apud Decina, 2012)

Tabela 19 - Valores de CN para áreas urbanas

Cover description  Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area <sup>1</sup>	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
<b>Fully developed urban areas (vegetation established)</b>					
Open space (lawns, parks golf courses, cemeteries, etc.):					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of- way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only)		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1to 2 inch sand or gravel mulch, and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85

<sup>1</sup> The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition.

<b>Cover description</b>		<b>Curve numbers for hydrologic soil group</b>			
<b>Cover type and hydrologic condition</b>	<b>Average percent impervious area<sup>1</sup></b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
<b>Developing urban areas</b>					
Newly graded areas (pervious areas, no vegetation)		77	86	91	94

Tabela 20 - Valores de CN para áreas agrícolas

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group				
Cover type	Treatment <sup>2</sup>	Hydrologic condition <sup>3</sup>	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	-	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured and terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C&T + CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T + CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80

<sup>2</sup> Crop residue cover applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year

<sup>3</sup> Hydrologic condition is based on combination factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good  $\geq 20\%$ ) and (e) degree of surface roughness.

Poor: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.

Good: Factors encourage average and better than average infiltration and tend to decrease runoff.

<b>Cover description</b>		<b>Curve numbers for hydrologic soil group</b>				
<b>Cover type</b>	<b>Treatment<sup>2</sup></b>	<b>Hydrologic condition<sup>3</sup></b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Close- seeded or broadcast legumes or rotation meadow</b>	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

Tabela 21 - Valores de CN para outros tipos de áreas agrícolas

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Cover type	Hydrologic condition				
Pasture, grassland, or range – continuous forage for grazing. <sup>4</sup>	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow – continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	-	30 <sup>5</sup>	58	71	78
Brush – brush-weed-grass mixture with brush the major element. <sup>6</sup>	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods- grass combination (orchard or tree farm). <sup>7</sup>	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. <sup>8</sup>	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 <sup>5</sup>	55	70	77
Farmsteads – buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	-	59	74	82	86

<sup>4</sup> Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

<sup>5</sup> Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations

<sup>6</sup> Poor: < 50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: > 75% ground cover.

<sup>7</sup> CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be compute from the CN's for woods and pasture.

<sup>8</sup> Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavily grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.



Tabela 22 - Valores de CN para regiões áridas e semiáridas

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
		A <sup>10</sup>	B	C	D
Herbaceous – mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen – mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper – pinyon, juniper, of both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub – major plants include saltbrush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

<sup>9</sup> Poor: < 30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).

Fair: 30 to 70% ground cover.

Good: > 70% ground cover.

<sup>10</sup> Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.