



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MEIN MIEKO CHANG

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO  
E A RELAÇÃO COM INUNDAÇÕES URBANAS NA BACIA  
DO RIBEIRÃO CAMBÉ – LONDRINA/PR**

MEIN MIEKO CHANG

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO  
E A RELAÇÃO COM INUNDAÇÕES URBANAS NA BACIA  
DO RIBEIRÃO CAMBÉ – LONDRINA/PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Donizete Pinheiro.

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Chang, Mein Mieko.

Análise Temporal do Uso e Cobertura do Solo e a Relação com Inundações Urbanas na Bacia do Ribeirão Cambé – Londrina/PR / Mein Mieko Chang. - Londrina, 2016.  
117 f. : il.

Orientador: Hemerson Donizete Pinheiro.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Análise multitemporal - Teses. 2. Uso e cobertura do solo - Teses. 3. Chuvas intensas - Teses. 4. escoamento superficial - Teses. I. Pinheiro, Hemerson Donizete. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

MEIN MIEKO CHANG

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO E A  
RELAÇÃO COM INUNDAÇÕES URBANAS NA BACIA DO  
RIBEIRÃO CAMBÉ – LONDRINA/PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Donizete  
Pinheiro  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Deize Dias Lopes  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Andrea Furegatti  
Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho – UNESP Bauru

Londrina, 13 de Maio de 2016.

Dedico este trabalho a meus pais por  
todo o amor e carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço meus pais, que me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos, pela amizade, pela compreensão nos períodos de indisponibilidade e pelos momentos de alegria durante essa fase.

Aos meus colegas do mestrado, pela companhia.

Ao meu querido amigo e colega, Vilson Gomes da Assunção Junior, que me apoiou nos momentos difíceis e me ajudou e guiou no período de incertezas.

À professora Dr<sup>a</sup>. Deize Dias Lopes, que me auxiliou durante o decorrer desta dissertação.

Ao professor Dr. Hemerson Donizete Pinheiro, que me orientou neste trabalho.

À professora Dr<sup>a</sup>. Simone Andrea Furegatti pela participação na banca.

Ao geógrafo Glauco Marighella da Catena Planejamento Territorial pela consultoria.

À Secretaria de Pós-Graduação do Centro de Tecnologia e Urbanismo por resolver os assuntos burocráticos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

E a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa que me foi concedida, apoiando o desenvolvimento desta pesquisa.

"Se antes de começarmos a falar determinarmos e escolhermos previamente as palavras, a nossa conversa não será vacilante nem ambígua. Se em todos os nossos negócios e empresas determinarmos e planejarmos previamente as etapas da nossa atuação, obteremos o êxito. Se determinarmos com bastante antecedência a nossa norma de conduta na vida, em nenhum momento seremos assaltados pela inquietação. Se sabemos previamente quais são os nossos deveres, será fácil darmos-lhes cumprimento."

(Confúcio)

CHANG, Mein Mieko. **Análise temporal do uso e cobertura do solo e a relação com inundações urbanas na bacia do Ribeirão Cambé – Londrina/PR.** 2016. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

A urbanização altera o uso e a cobertura do solo, modificando a forma com que ocorre o escoamento superficial das águas pluviais. O planejamento inadequado da malha urbana pode acarretar no aumento da magnitude e da frequência de inundações em muitas cidades. Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral analisar as mudanças no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR, entre os anos de 1975 e 2015, e avaliar como tais transformações impactam no escoamento superficial. Para a classificação do uso e cobertura do solo foram utilizadas imagens dos satélites da série LANDSAT (1-MMS, 5-TM e 8-OLI), as quais foram adquiridas gratuitamente no site do INPE/DGI. A classificação foi realizada através do programa SPRING, onde foram criados quatro temas de uso e cobertura do solo, foram elas: urbanizada, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto. O valor de CN para os temas criados foram obtidos por meio de média ponderada com base nas tabelas de CN do SCS para bacias urbanas e suburbanas. Os valores de chuvas máximas diárias anuais dos últimos 40 anos foram analisados através da distribuição de Gumbel e posteriormente foi feita a desagregação das chuvas máximas de “um dia” pelo Método das Relações da CETESB (1986), comparando com os resultados produzidos pela equação de IDF de Fendrich (2011). Para a geração dos hietogramas foi aplicado o Método dos Blocos Alternados, já para a geração dos hidrogramas de projeto foram utilizados o Método do Hidrograma Unitário Sintético Curvilíneo do SCS e a Convolução. A caracterização morfológica da bacia do Ribeirão Cambé indica baixa probabilidade de enchentes, através das fórmulas de suscetibilidade de enchentes. Por meio das imagens de satélite, foi possível afirmar que ocorreram mudanças significativas no uso e cobertura do solo desta bacia, tendo a área urbanizada crescido 150% em 40 anos, sendo que as maiores taxas de crescimento aconteceram nas primeiras décadas analisadas, 42%, 33%, 18% e 11%, respectivamente. A comparação entre os valores obtidos pela equação de IDF de Fendrich (2011) e pela distribuição de Gumbel e desagregação das chuvas máximas, mostraram que pode haver diferença de até 28% na intensidade da chuva para um mesmo  $T_R$  e  $t_d$ . A análise das chuvas responsáveis pelo transbordamento do Lago Igapó mostram a frequência anual destes eventos, indicando possível mudança nos regime de chuvas no município, como também o assoreamento do Lago. O tempo de concentração da bacia teve redução de 37,0% e 44,7% em 2015 e 2035, respectivamente, em relação a 1975, contrapondo ao aumento do valor de CN do mesmo período, 6,7% e 7,7%. Isto ocasiona no acréscimo médio de 81,7% e 107,7% na vazão de pico entre os anos analisados. Conclui-se que as alterações no uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas refletem no escoamento superficial, evidenciando a necessidade da discussão acerca do planejamento urbano e do controle de inundações.

**Palavras-chave:** Análise multitemporal. Uso e cobertura do solo. Chuvas intensas. Urbanização. Escoamento superficial.

CHANG, Mein Mieko. **Temporal analysis of land use and land cover and the relation with urban flood in Ribeirão Cambé basin – Londrina/PR**. 2016. 117p. Dissertation (Master Degree in Construction and Sanitation Engineering) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## ABSTRACT

Urbanization changes the land use and land cover, modifying how the runoff happens. Improper planning of urban environment can result in increased of the magnitude and frequency of floods in many cities. Thus, this study aimed to analyze the changes in the land use and land cover of Ribeirão Cambé in the city of Londrina /PR, between 1975 and 2015, and evaluate how these changes impact in the runoff volume. For the classification of land use and land cover were used satellite images from the Landsat series (1-MMS, 5-TM and 8-OLI), which were acquired for free from the INPE/DGI website. The classification was made by the SPRING program, which were established four theme of land use and cover, were they: urban, dense vegetation, underbrush and exposed soil. The CN value of the established themes were obtained using weighted average based on the SCS CN tables for urban and suburban basins. The values of annual maximum daily rainfall of the last 40 years were analyzed through the Gumbel distribution and was subsequently made the breakdown of the maximum rainfall of "one day" by CETESB's (1986) Relations Method, comparing it with Fendrich (2011) IDF equation. For the generation of hietograms was applied the Alternating Blocks Method, as for the generation of project hydrographs were used the SCS Curvilinear Synthetic Hydrograph Unit Method and Convolution. Morphological characterization of Ribeirão Cambé basin indicates low probability of flooding through the flood susceptibility formulas. Through satellite images, it was possible to affirm that significant changes happened in the land use and land cover of this basin, having grown 150% in 40 years, with the highest growth rates occurred in the first decades analyzed, 42%, 33%, 18% and 11%, respectively. The comparison between the values obtained from the Fendrich (2011) IDF equation and the Gumbel distribution and breakdown of maximum rainfall, showed that there may be differences over 28% on the rain intensity for the same  $T_R$  and  $t_d$ . The analysis of rainfall responsible for Igapó Lake overflow show an annual frequency of these events, indicating a possible change in rainfall regime in the city, as well as the silting of the lake. The basin time concentration decreased by 37,0% and 44,7% in 2015 and 2035, respectively, in relation to 1975, in contrast to CN value increase in the same period, 6,7% and 7,7%. This causes the average increase of 81,7% and 107,7% in the peak flow in the analyzed years. It concludes that changes in the land use and land cover in river basins reflect into the runoff, highlighting the need for discussion of urban planning and flood control.

**Keywords:** Multitemporal analysis. Land use/land cover. Extreme rainfall. Urbanization. Runoff.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Componentes do escoamento dos cursos d'água.....	26
<b>Figura 2</b> - Impacto da urbanização no hidrograma típico. ....	27
<b>Figura 3</b> - Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana. ....	29
<b>Figura 4</b> - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto. ....	36
<b>Figura 5</b> - Localização do perímetro urbano do município de Londrina-PR.....	42
<b>Figura 6</b> - Bacias hidrográficas na área urbana de Londrina-PR.....	43
<b>Figura 7</b> - Localização da Bacia do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR. ....	44
<b>Figura 8</b> - Composição do Lago Igapó. ....	45
<b>Figura 9</b> - Delimitação da área de estudo.....	46
<b>Figura 10</b> - Zoneamento Urbano da Bacia do Ribeirão Cambé em Londrina (PR).....	48
<b>Figura 11</b> - Classes de solo no estrato superior da bacia do Ribeirão Cambé.....	50
<b>Figura 12</b> - Batimetria do Lago Igapó. ....	55
<b>Figura 13</b> - Fluxograma do estudo multitemporal do uso e cobertura do solo.....	59
<b>Figura 14</b> - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1975. ....	77
<b>Figura 15</b> - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1985. ....	78
<b>Figura 16</b> - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1995. ....	79
<b>Figura 17</b> - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 2005. ....	80
<b>Figura 18</b> - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 2015. ....	81
<b>Figura 19</b> - Hietogramas das chuvas que causaram alagamentos no Lago Igapó e entorno. ....	92
<b>Figura 20</b> - Hidrogramas por tempo de retorno. ....	99
<b>Figura 21</b> - Hidrograma do ano de 1975, com $T_r = 5$ anos. ....	110
<b>Figura 22</b> - Hidrograma do ano de 1975, com $T_r = 10$ anos. ....	111
<b>Figura 23</b> - Hidrograma do ano de 1975, com $T_r = 25$ anos. ....	111
<b>Figura 24</b> - Hidrograma do ano de 1975, com $T_r = 50$ anos. ....	112
<b>Figura 25</b> - Hidrograma do ano de 1975, com $T_r = 100$ anos. ....	112
<b>Figura 26</b> - Hidrograma do ano de 2015, com $T_r = 5$ anos. ....	113
<b>Figura 27</b> - Hidrograma do ano de 2015, com $T_r = 10$ anos. ....	113

<b>Figura 28</b> - Hidrograma do ano de 2015, com $T_r = 25$ anos. ....	114
<b>Figura 29</b> - Hidrograma do ano de 2015, com $T_r = 50$ anos. ....	114
<b>Figura 30</b> - Hidrograma do ano de 2015, com $T_r = 100$ anos. ....	115
<b>Figura 31</b> - Hidrograma do ano de 2035, com $T_r = 5$ anos. ....	115
<b>Figura 32</b> - Hidrograma do ano de 2035, com $T_r = 10$ anos. ....	116
<b>Figura 33</b> - Hidrograma do ano de 2035, com $T_r = 25$ anos. ....	116
<b>Figura 34</b> - Hidrograma do ano de 2035, com $T_r = 50$ anos. ....	117
<b>Figura 35</b> - Hidrograma do ano de 2035, com $T_r = 100$ anos. ....	117

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Fórmulas de $t_c$ recomendadas para bacias urbanas. ....	23
<b>Tabela 2</b> – Datas em que ocorreram os alagamentos no Lago Igapó.....	54
<b>Tabela 3</b> - Alguns parâmetros para análise morfológica da bacia hidrográfica. ....	58
<b>Tabela 4</b> - Imagens de satélite utilizadas. ....	60
<b>Tabela 5</b> - Unidades de mapeamento. ....	61
<b>Tabela 6</b> - Grupo de solos e características do solo. ....	63
<b>Tabela 7</b> - Capacidade mínima de infiltração conforme o grupo do solo.....	63
<b>Tabela 8</b> - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	64
<b>Tabela 9</b> - Ponderação de CN por tipo de utilização e cobertura do solo. ....	66
<b>Tabela 10</b> - Precipitações máximas diárias anuais (mm) em Londrina/PR. ....	68
<b>Tabela 11</b> - Valores da média reduzida ( $y$ ) para o método de Gumbel em função da amostra $N$ . ....	69
<b>Tabela 12</b> - Valores do desvio-padrão reduzido ( $s_y$ ) para o método de Gumbel em função da amostra $N$ . ....	69
<b>Tabela 13</b> - Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias. ....	70
<b>Tabela 14</b> - Velocidade média para o cálculo de $t_c$ pelo método cinemático do SCS.....	72
<b>Tabela 15</b> – Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS. ....	72
<b>Tabela 16</b> - Parâmetros morfológicos da Bacia do Ribeirão Cambé.....	75
<b>Tabela 17</b> – População urbana residente em Londrina/PR.....	83
<b>Tabela 18</b> - $CN_{Médio}$ final por ano analisado da Bacia do Ribeirão Cambé. ....	85
<b>Tabela 19</b> - Intensidade da precipitação em função de $T_r$ e $t_d$ pela fórmula de Fendrich (2011).....	87
<b>Tabela 20</b> - Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR. ....	89
<b>Tabela 21</b> – Precipitação através da distribuição de Gumbel e desagregação para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR. ....	90
<b>Tabela 22</b> – Intensidade de precipitação através da distribuição de Gumbel e desagregação para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR. ....	90

<b>Tabela 23</b> - Diferença percentual da distribuição de Gumbel e desagregação com a equação de IDF de Fendrich (2011). .....	91
<b>Tabela 24</b> – Tempo de retorno das chuvas responsáveis pelos transbordamentos do Lago Igapó. ....	93
<b>Tabela 25</b> – Tempos de concentração e precipitações para os diferentes cenários e tempos de retorno.....	97
<b>Tabela 26</b> - Vazões de pico dos hidrogramas de cada cenário.....	98

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Curvas de IDF para o município de Londrina/PR.....	67
<b>Gráfico 2</b> - Uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Cambé.....	76
<b>Gráfico 3</b> - Comparação entre o crescimento populacional urbano do município de Londrina/PR e o crescimento da urbanização da Bacia do Ribeirão Cambé. ....	84
<b>Gráfico 4</b> - Crescimento de $CN_{Médio}$ final para a Bacia do Ribeirão Cambé. ....	86
<b>Gráfico 5</b> - Valor de precipitação pela fórmula de Fendrich (2011).....	87
<b>Gráfico 6</b> - Ajuste gráfico da distribuição de Gumbel para Londrina/PR entre 1976 e 2015. ....	88
<b>Gráfico 7</b> - Precipitação média mensal para Londrina entre os anos de 1976 e 2015. ....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CN	Curva Número
DGI	Divisão de Geração de Imagens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
$i$	Intensidade da precipitação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade – Duração – Frequência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
$t_c$	Tempo de concentração da bacia
$t_d$	Tempo de duração da chuva
$T_r$	Tempo de retorno da chuva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
3.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	19
3.1.1	Caracterização Morfológica da Bacia Hidrográfica .....	21
3.1.2	Tempo de Concentração .....	22
3.2	DRENAGEM URBANA .....	24
3.2.1	Urbanização e Impermeabilização do solo .....	25
3.2.2	Inundações Urbanas .....	27
3.2.3	Plano Diretor de Drenagem .....	28
3.3	MODELOS HIDROLÓGICOS .....	30
3.3.1	Precipitação e Equação de IDF .....	30
3.3.2	Modelo de Precipitação-vazão SCS .....	33
3.4	SENSORIAMENTO REMOTO .....	35
3.4.1	Satélites .....	37
3.4.2	INPE e DGI .....	39
3.4.3	SPRING .....	40
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	42
4.1	ASPECTOS GERAIS .....	42
4.2	BREVE HISTÓRICO DO LAGO IGAPÓ .....	50
4.3	ALAGAMENTOS NO LAGO IGAPÓ E ENTORNOS .....	53
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	56
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	57
5.2	ESTIMATIVA DO USO E COBERTURA DO SOLO .....	59
5.3	OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN .....	62
5.4	CHUVAS INTENSAS .....	66
5.4.1	Equação de IDF De Fendrich (2011) .....	66

5.4.2	Distribuição de Gumbel e Desagregação de Chuvas Diárias.....	67
5.5	GERAÇÃO DE HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS .....	71
5.6	CONCEPÇÃO DE CENÁRIOS.....	73
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>74</b>
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	74
6.2	CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO.....	75
6.3	OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN.....	84
6.4	CHUVAS INTENSAS .....	86
6.5	ALAGAMENTOS NO LAGO IGAPÓ E ENTORNOS .....	92
6.6	HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	96
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>101</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO</b>	<b>.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2015), o censo demográfico apontou que cerca de 84% de toda a população brasileira vivia nas cidades em 2010, enquanto que em 1950 esse número era de 36%. Esse intenso crescimento da população urbana ocorreu, em muitos municípios, sem que houvesse um planejamento adequado, fazendo com que o processo de urbanização ocorresse de forma acelerada e desordenada, isto é, praticamente sem infraestrutura urbana.

Tal situação é reforçada pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 1992 e 2014 para domicílios particulares permanentes urbanos no Brasil, o qual apresenta que em 1992 a população que vivia nas cidades era de 75,59%, onde 79,59% das residências possuíam rede de abastecimento de água, 45,50% rede coletora de esgoto e 61,95% coleta de lixo. Já em 2014, 85,06% da população era urbana, das quais 84,67% das residências abrangidas possuíam rede de água, 56,91% rede de esgoto e 79,30% coleta de lixo (SIDRA, 2016b; IBGE, 2016c).

O crescimento urbano altera o uso e ocupação do solo, logo, tais alterações influenciam no comportamento hidrológico das bacias envolvidas. As modificações na cobertura vegetal, sejam elas naturais ou artificiais, têm influência direta na produção de sedimentos e na qualidade da água, mas, principalmente, no aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial. Esta, por sua vez, causa o aumento da magnitude e da frequência de inundações, bem como o transbordamento de rios e lagos, trazendo, portanto, prejuízos ao meio ambiente e transtornos à população.

Na cidade de Londrina/PR, especificamente na bacia do Ribeirão Cambé, as inundações urbanas estão acontecendo com maior frequência e intensidade, sejam devido a impermeabilização do solo, ao sistema de drenagem ineficiente ou ao assoreamento do Lago Igapó. Estes fatores ficam mais evidentes nos eventos de chuvas intensas, quando ocorrem os alagamentos e transbordamentos no Lago Igapó (I, II, III e IV).

A impermeabilização do solo, causada pelo desenvolvimento da malha urbana, altera a forma como passa a ocorrer o escoamento superficial das águas pluviais. O volume, que antes da urbanização ficava retido pela vegetação e infiltrava no solo, passa agora a escoar pelas áreas impermeáveis e por canais e

condutos, que aumentam a capacidade de escoamento das águas da chuva. Assim, essas águas atingem mais rapidamente os canais de macrodrenagem (naturais ou artificiais), podendo acarretar em inundações.

Para prevenir inundações podem ser adotadas medidas estruturais e não-estruturais. Cita-se, por exemplo, o plano diretor de drenagem urbana como uma medida não-estrutural altamente recomendável, tal como o zoneamento urbano.

Modelos hidrológicos são frequentemente utilizados como forma de suporte ao manejo de recursos hídricos e para a previsão de impactos decorrentes de mudanças do uso e da ocupação do solo. Esses modelos, geralmente, descrevem os processos hidrológicos de forma matemática e modulada, onde os parâmetros utilizados são ajustados com os dados da bacia (características morfológicas).

Para tanto, é necessário também o conhecimento da distribuição e das variações da chuva, tanto temporal quanto espacial, uma vez que tais dados são de extrema importância para subsidiar estudos hidrológicos, assim como auxílio na tomada de decisão referente a utilização de recursos hídricos.

Com a vinculação de inúmeros modelos hidrológicos e a utilização de softwares de modelagem, há a possibilidade da criação de diversos cenários e a simulação de eventos hidrológicos, possibilitando uma análise mais abrangente em variados campos da gestão e do planejamento dos recursos hídricos. Pode-se citar o exemplo da utilização desta ferramenta para se avaliar as consequências da urbanização no escoamento superficial. Desta forma, medidas de prevenção podem ser tomadas com o intuito de reduzir danos e perdas.

Assim sendo, esse trabalho visa avaliar a relação do crescimento de áreas urbanizadas com o aumento do volume escoado superficialmente na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR. Com o intuito de melhor avaliar tais mudanças no meio, foram também estudadas e analisadas as chuvas máximas diárias anuais da cidade, procurando verificar a veracidade da equação de chuvas intensas amplamente difundida em Londrina. Dada as últimas ocorrências de chuvas intensas na cidade que acarretaram no transbordamento do Lago Igapó, procurou-se averiguar as grandezas características (intensidade, duração e frequência) destas precipitações.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação do escoamento superficial e do uso e cobertura do solo na Bacia do Ribeirão Cambé, na cidade de Londrina/PR, através da comparação das vazões máximas obtidas por meio de simulação para diferentes cenários.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar morfologicamente a Bacia do Ribeirão Cambé;
- Conhecer e estimar, de forma quantitativa, o uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Cambé entre os anos de 1975 e 2015;
- Obter os valores da Curva Número (CN) para os anos analisados;
- Obter as grandezas características das chuvas intensas através de chuvas diárias de Londrina (1976 – 2015) e compará-las com a equação de Fendrinch (2011);
- Determinar o tempo de retorno ( $T_R$ ) das chuvas responsáveis pelos alagamentos do complexo do Lago Igapó;
- Gerar hidrogramas de escoamento para os anos anterior e posterior à urbanização (1975 e 2015) a partir dos valores de CN; e para o cenário hipotético, de previsão para o ano de 2035.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

O ciclo hidrológico é um fenômeno natural, global, de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar, associada à gravidade e à rotação da Terra. Esta é também uma forma conveniente de apresentar os fenômenos hidrológicos, são eles: precipitação, evapotranspiração, evaporação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo (VILLELA; MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica é uma das referências espaciais mais consideradas no meio físico. No fim da década de 1960 a bacia passou a ser amplamente reconhecida como unidade de estudo e incorporada à grande área dos estudos ambientais (BOTELHO; SILVA, 2011). O conhecimento da bacia hidrográfica pelo pesquisador permite a avaliação dos diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem.

Por meio da lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997), que definiu a bacia hidrográfica como uma unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tal definição se deve ao fato de que, em uma bacia hidrográfica, as condições de uso do solo e a preservação dos recursos hídricos à montante se refletem nas situações à jusante.

De acordo com Guerra e Cunha (2012) as bacias hidrográficas são excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, uma vez que é possível acompanhar as mudanças causadas pelo homem e as devidas respostas da natureza. Os autores ainda afirmam que, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica também é utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água e garantindo sua qualidade e quantidade.

Segundo Viessman, Harbaugh e Knapp (1972 apud VILLELA e MATTOS, 1975), a bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma única saída, chamada exutório. É

contornada por um divisor (topográfico), uma linha rígida em torno de toda bacia que atravessa o curso d'água apenas no ponto de saída. O divisor é definido pelos pontos de cota máxima entre as bacias.

A bacia hidrográfica é um subsistema hidrológico aberto, uma vez que nela ocorrem todas as fases do ciclo hidrológico. O papel hidrológico da bacia hidrográfica consiste em transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água de forma mais distribuída no tempo (escoamento), onde há a influência das características da bacia (TUCCI, 1997).

Com o advento e consolidação dos Sistemas de Informações Geográficas e, conseqüentemente, o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo, como os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), métodos automáticos para delimitação de bacias têm sido desenvolvidos desde então (GARBRECHT; MARTZ, 1999 apud CARDOSO et al., 2006). Logo, métodos que utilizam o formato analógico, tal qual cartas e mapas, estão sendo sucedidos pelo formato digital, já que o formato analógico pode comprometer a confiabilidade e a reprodução dos resultados devido à carga de subjetividade inerente aos métodos manuais.

Com o desenvolvimento das cidades brasileiras tem se verificado o aumento significativo da frequência e intensidade das inundações urbanas, de rios e córregos que drenam as bacias hidrográficas urbanas. Assim, Tucci e Collischonn (2000) expõem que a urbanização pode gerar um acréscimo de vazão de até 7 vezes a vazão de pico do escoamento da bacia em condições naturais, tal que pode ocorrer, paralelamente, a diminuição da qualidade da água da bacia por conta da geração e transporte de sedimentos e de resíduos sólidos através dos cursos d'água.

A medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem, além do aumento do volume escoado superficialmente, aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos, a deterioração da qualidade da água subterrânea e superficial, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto, além da ocorrência de inundação de áreas ribeirinhas aos canais de drenagem (TUCCI, 2002).

### 3.1.1 Caracterização Morfológica da Bacia Hidrográfica

Um dos primeiros passos no procedimento de análise hidrológica ou ambiental é a caracterização morfológica da bacia hidrográfica, já que esta gera indicadores físicos que servem de base para tomada de decisão.

O comportamento hidrológico é função de suas características geomorfológicas (geométrica, relevo, rede de drenagem e geologia) e do tipo de cobertura existente. Desta forma, as características da bacia (físicas e bióticas) possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, tendo influência direta sobre o escoamento superficial, logo, no hidrograma resultante de precipitação (LIMA, 1976).

São classificadas como características geométricas: área, perímetro, comprimento, coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), fator de forma ( $K_f$ ) e índice de circuncidade ( $I_c$ ). Já as características do relevo são: orientação, declividade (mínima, média e máxima) e altitude (mínima, média e máxima).

As características da rede de drenagem são função: do padrão de drenagem, da declividade média e do comprimento do curso d'água principal, do comprimento total dos cursos d'água, da densidade hidrográfica, da densidade de drenagem ( $D_d$ ), do índice de sinuosidade e da ordem/hierarquia dos cursos d'água (VILLELA; MATTOS, 1975).

Conforme Lima (1976), os parâmetros geológicos são: tipos de rochas, tipos de solos, tipos de sedimentos fluviais, entre outros. E os parâmetros de vegetação são: tipos de cobertura vegetal, espécies, densidade, índice de área foliar, biomassa, etc..

De acordo com Villela e Mattos (1975), existe certa correspondência entre as características morfológicas da bacia hidrográfica e o regime hidrológico desta, tal que é possível determinar, de forma indireta, variáveis hidrológicas em locais desprovidos de informações. Pode-se citar que, a extensão e forma da bacia estão relacionados com a quantidade de água que esta pode captar e o relevo e a densidade de drenagem com a velocidade de escoamento e a capacidade de infiltração da água no solo (SILVEIRA, 2009).

São realizados inúmeros trabalhos de caracterização morfométrica em bacias hidrográficas em todo o Brasil. São citados, por exemplo Borsato e Martoni (2004), que fizeram a caracterização física das bacias hidrográficas da área urbana

no município de Maringá (PR). Para auxiliar o trabalho os autores utilizaram um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o programa SPRING 4.0 sobre um mapa de curvas de nível. Cardoso et al. (2006) fizeram a caracterização morfométrica a partir de alguns parâmetros da bacia do rio Debossan, em Nova Friburgo (RJ). Para isso, foi gerado o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) com base em cartas topográficas e utilizando o SIG através dos softwares ArcVIEW e Arc/INFO. Já Calçavara (2012) obteve as variáveis morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego São Vicente em Cachoeiro de Itapemirim (ES) através do uso de SIG associado à utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE), para isso, foram utilizados softwares ArcMap 9.3 e SPRING 4.3.3, cartas topográficas digital, folha Castelo e fotos aéreas digitais.

### 3.1.2 Tempo de Concentração

A definição de tempo de concentração ( $t_c$ ), de acordo com Tomaz (2011), é o intervalo (mínimo) de tempo entre o início da chuva e o momento em que toda a área da bacia passa a contribuir para o escoamento superficial em seu exutório. Pode também ser definido como o tempo entre o fim da precipitação e ponto de inflexão do hidrograma, que identifica o início da recessão do escoamento superficial direto. O tempo de concentração assume papel fundamental no que se refere à determinação das vazões máximas produzidas pelo escoamento superficial (TUCCI, 1993 e MATA-LIMA et al., 2007).

Os fatores que influenciam no tempo de concentração de uma bacia são: uso e ocupação do solo, forma da bacia, declividade média da bacia, sinuosidade, declividade do curso principal e de seus afluentes, distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e seu exutório e condições do solo em que a bacia se encontra no início da precipitação.

A literatura apresenta inúmeras fórmulas para o cálculo de tempo de concentração, podendo ser classificados em métodos estritamente empíricos ou semiempíricos, sendo desenvolvidos com base em bacias locais, levando a diferentes resultados. De acordo com Mata-Lima et al. (2007), os métodos estritamente empíricos são aqueles que resultam de análise estatística de informações obtidas em campo (apenas parâmetros físicos da bacia) que conduzem à obtenção de equações de regressão linear múltipla, por não considerarem a variabilidade espacial e temporal

são recomendados para bacias rurais ou com apenas um tipo de uso. Alguns dos métodos estritamente empíricos para o cálculo de  $t_c$  citados, pelos mesmos autores, são: Ventura, Temez, Kirpich, Pickering, Giandotti, Pasini, Ven te Chow e Schaake.

Já os métodos semiempíricos consideram a heterogeneidade espaço-temporal da bacia em relação às características biofísicas e ocupacionais (tipo de vegetação e densidade, tipo de ocupação, topografia, etc.), tornando seu uso flexível. De acordo com os mesmos autores, são considerados métodos semiempíricos: Hathaway, Soil Conservation Service (SCS), SCS Lag, Federal Aviation Adminsitration, Seelye, onda cinemática e Friend.

Conforme afirma MATA-LIMA et al. (2007), dos inúmeros métodos semiempíricos existentes, o método do Soil Conservation Service (SCS) pode ser considerado amplo. Isso porque esse método considera os processos de ocupação que ocorrem nas bacias hidrográficas, tal que inclui em sua equação o Curva Número (CN), parâmetro referente aos diferentes usos e cobertura do solo que podem ser considerados.

Silveira (2005) avaliou o desempenho de 23 fórmulas de tempo de concentração, calculando seus erros com dados de dois arquivos-teste, um de bacias rurais (contendo 29 bacias americanas e espanholas) e outro de bacias urbanizadas (com 32 bacias francesas e americanas). O autor recomenda para uso em bacias urbanas as seguintes fórmulas, em ordem de satisfação: Carter, Schaake, Kirpich e Desbordes. A Tabela 1 apresenta as fórmulas com suas respectivas equações, número de bacias avaliadas, faixa de área de melhor desempenho e as variações dos erros médio e erro padrão para bacias urbanas.

**Tabela 1** - Fórmulas de  $t_c$  recomendadas para bacias urbanas.

FÓRMULAS	EQUAÇÃO	Nº BACIAS	ÁREA (ha)	ERRO MÉDIO (%)	ERRO-PADRÃO (%)
Carter	$t_c = 0,0977 \cdot \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}}$ (1)	29	< 1100	1	40
Schaake	$t_c = 0,0828 \cdot \frac{L^{0,24}}{S^{0,16} \cdot A_{imp}^{0,26}}$ (2)	26	< 62	-9	30
Kirpich	$t_c = 0,0663 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$ (3)	16	< 2700	1	39

FÓRMULAS	EQUAÇÃO	Nº BACIAS	ÁREA (ha)	ERRO MÉDIO (%)	ERRO-PADRÃO (%)
Desbordes	$t_c = 0,0869 \cdot \frac{A^{0,3039}}{S^{0,3832} \cdot A_{imp}^{0,4523}}$ (4)	20	< 5100	11	49

\*  $A$ : área, dada em km<sup>2</sup>;  $A_{imp}$ : área impermeável, dada em porcentagem.

\* Para Carter, Schaake e Desbordes:  $L$  é o comprimento do coletor pluvial ou canal principal (em km) e  $S$  a declividade média (em m/m);

\* Para Kirpich:  $L$  deve ser contado desde a cabeceira (em km) e  $S$  é a razão entre o desnível máximo e o comprimento  $L$  do percurso (em m/m).

**Fonte:** SILVEIRA, 2005.

Tucci (2003) realizou um estudo com base numa amostra de dados de 12 bacias brasileiras onde foram regionalizados os valores de vazão de pico e tempo de concentração do hidrograma unitário triangular. As equações resultantes dependiam da área de drenagem e da área impermeável das bacias hidrográficas, nestas variáveis foram embutidos os outros parâmetros físicos da bacia. Para analisar a compatibilidade foi calculada sua estimativa frente ao modelo SCS com duas alternativas, uma com o  $t_c$  como descrito pelo método e a outra com  $t_c$  obtido pelo método cinemático. Os resultados comparativos mostraram que os resultados da regressão se aproximaram dos valores do SCS com o  $t_c$  obtidos pelo método cinemático.

Paulino (2014) adverte sobre a importância de verificar se a área de estudo apresenta características semelhantes às características do local para o qual a fórmula para o cálculo de tempo de concentração foi desenvolvida.

### 3.2 DRENAGEM URBANA

De acordo com Porto et al. (2009), pode-se definir a drenagem urbana, de modo geral, como o conjunto de medidas que têm como objetivo a minimização dos riscos à população, a redução dos riscos e prejuízos causados por inundações e a possibilidade do desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. A finalidade da drenagem urbana é a de remover as águas pluviais em excesso da maneira mais eficiente possível, sem produzir impactos nem no local, nem a jusante.

Muitas vezes o problema de drenagem urbana não está relacionado apenas com a quantidade de locais impermeáveis, está relacionado também com a eficiência hidráulica de drenagem com foco em inundações.

### 3.2.1 Urbanização e Impermeabilização do Solo

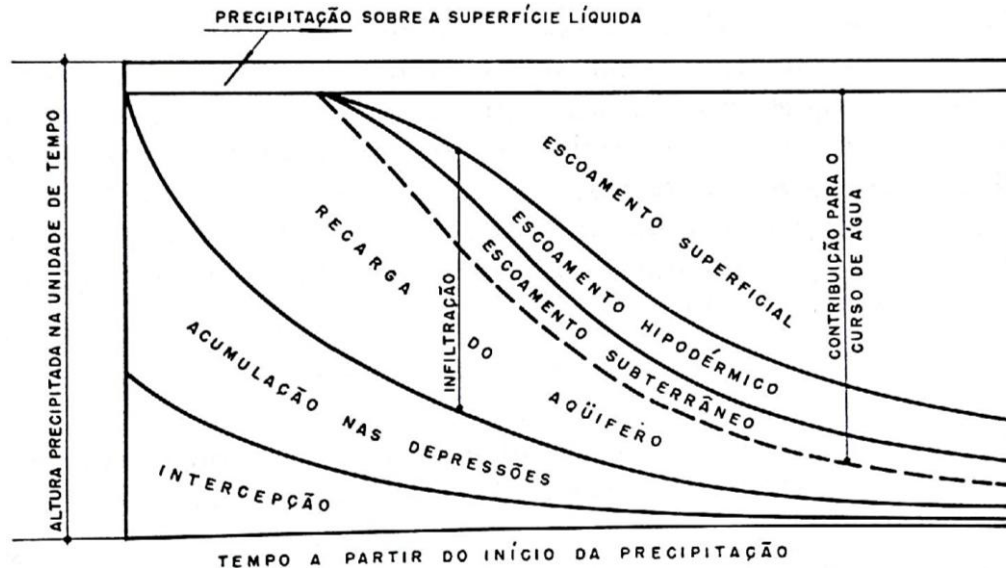
Segundo o IBGE (2015a), o censo demográfico apontou que em 1950 cerca de 36% da população brasileira vivia nas cidades, já em 2010 esse percentual atingiu o patamar de 84%, com perspectivas de aumento. A concentração de grande parcela da população em áreas urbanas, fez com que em muitos municípios o crescimento da malha urbana ocorresse sem que houvesse um planejamento adequado, de tal modo que o processo de urbanização acelerado ocorresse de forma desordenada e sem infraestrutura urbana.

Conforme Porto et al. (2009) e Tucci (2005), esse desenvolvimento provocou a transformação da cobertura do solo, passando de superfície permeável para impermeável, resultando em efeitos sobre o ciclo hidrológico da bacia envolvida, tais como:

- o aumento do escoamento superficial e a redução do tempo de escoamento que, conseqüentemente, provocam aumento das vazões máximas e antecipam os picos de cheias;
- a redução do escoamento subterrâneo, que causa o rebaixamento do nível do lençol freático;
- a redução nos processos de evapotranspiração;
- a redução da infiltração da água no solo.

Das fases do ciclo hidrológico, talvez a mais importante para o pesquisador (engenheiro civil) seja a do escoamento superficial direto, que é a fase responsável pela ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, sendo assim relevante para o dimensionamento hidráulico e na prevenção de inundações. O escoamento superficial é definido por Pinto et al. (1976) entre outros autores, como toda parcela da água precipitada em uma bacia hidrográfica, que escoam superficialmente para o canal principal. O escoamento superficial começa algum tempo após o início da precipitação, no qual o intervalo decorrido corresponde à ação da interceptação pelos vegetais e obstáculos, à saturação do solo e à acumulação nas depressões do terreno, como indica a Figura 1.

**Figura 1** - Componentes do escoamento dos cursos d'água.



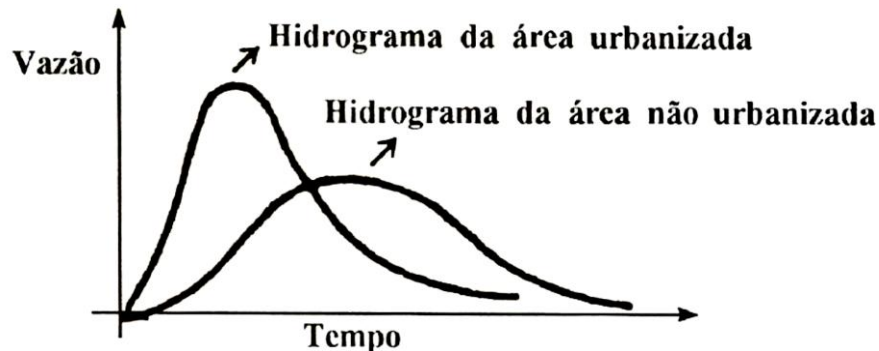
**Fonte:** PINTO et al., 1976.

O desenvolvimento urbano provoca a impermeabilização da bacia através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros, que formam uma espécie de capa impedindo a infiltração da água. Dessa forma, a parcela de água que antes infiltrava no solo, passa a escoar pelos condutos, aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial. O volume que antes da urbanização escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento de suas seções. Devido à maior capacidade de escoamento da sarjeta, condutos e canais frente às superfícies naturais, o escoamento superficial chega mais rápido à seção principal, provocando assim, vazões maiores que as naturais (TUCCI e GENZ, 1995).

O volume de água escoada superficialmente varia de acordo com as características físicas da bacia hidrográfica, como a declividade, a área impermeabilizada e o tipo de solo. Portanto, as condições de escoamento sofrem alterações quando há a transformação do solo, fazendo com que precipitações, mesmo em pequena intensidade, possam causar grandes inundações.

Na Figura 2 são apresentados o hidrograma típico de uma bacia natural e o resultante da urbanização, no qual é possível perceber que ao urbanizar uma área, tem-se um pico de vazão no hidrograma muito superior ao da bacia natural, uma vez que, devido à impermeabilização do solo, a água pluvial deixa de ser absorvida pelo solo (TUCCI, 1995).

**Figura 2** - Impacto da urbanização no hidrograma típico.



**Fonte:** TUCCI, 1995.

Em estudo realizado por Tucci (2000), este discute a relação entre o coeficiente de escoamento de bacias urbanas brasileiras e a área impermeável. Foi demonstrado que o impacto da urbanização em uma dada bacia pode acarretar na duplicação do volume escoado superficialmente. Esse aumento do volume escoado quando comparando uma bacia rural, com 20% de área impermeável, com uma bacia com 80% da área impermeabilizada pode chegar a 8 vezes.

Campana e Tucci (1994) desenvolveram uma curva para bacias urbanas na região metropolitana de São Paulo, relacionando a densidade habitacional com porcentagem impermeável da bacia. Neste trabalho o valor das porcentagens impermeáveis dentro das bacias estudadas foi determinado através do ajuste do modelo IPH2 a dados de chuva-vazão observados e a relação com a densidade demográfica (dados do Censo Demográfico do IBGE) foi realizada com o auxílio de imagens de satélite LANDSAT.

### 3.2.2 Inundações Urbanas

Segundo Campana e Tucci (1999), em países subdesenvolvidos a urbanização ocorre com pouca ou nenhuma regulamentação no que diz respeito ao plano de drenagem urbana, acarretando em graves problemas de inundação posteriores ao processo de urbanização, implicando na necessidade de obras de altos custos para sanar ou apenas atenuar tais problemas.

Conforme Tucci (2002), as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à impermeabilização, a ocupação do solo e à construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções

ao escoamento, devido a execução de aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

As inundações urbanas trazem grandes problemas à cidade como: perdas materiais, perdas de vida, impactos ambientais e problemas relacionados a epidemias. Sendo que a perda de vida por ser um fato que não pode ser mensurável monetariamente é o maior problema das enchentes.

Com o intuito de prevenir contra inundações podem ser utilizadas medidas estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais são aquelas que envolvem componentes físicos ou de engenharia como parte integrante, já as não-estruturais estão relacionadas às atividades que envolvem práticas de gerenciamento e de mudanças de comportamento da população e de órgãos públicos.

Sendo assim, a fim de minimizar os impactos relacionados com inundações urbanas, os municípios necessitam adotar medidas que regulamentem o uso e ocupação do solo associadas a diretrizes de drenagem urbana definidas no plano de drenagem urbana. Essas medidas quando implantadas em estágios iniciais de desenvolvimento urbano, necessitam de recursos que são relativamente limitados. No entanto se já houver uma ocupação da população nesses espaços as soluções terão custos muito mais elevados (PORTO et al., 2009).

### 3.2.3 Plano Diretor de Drenagem

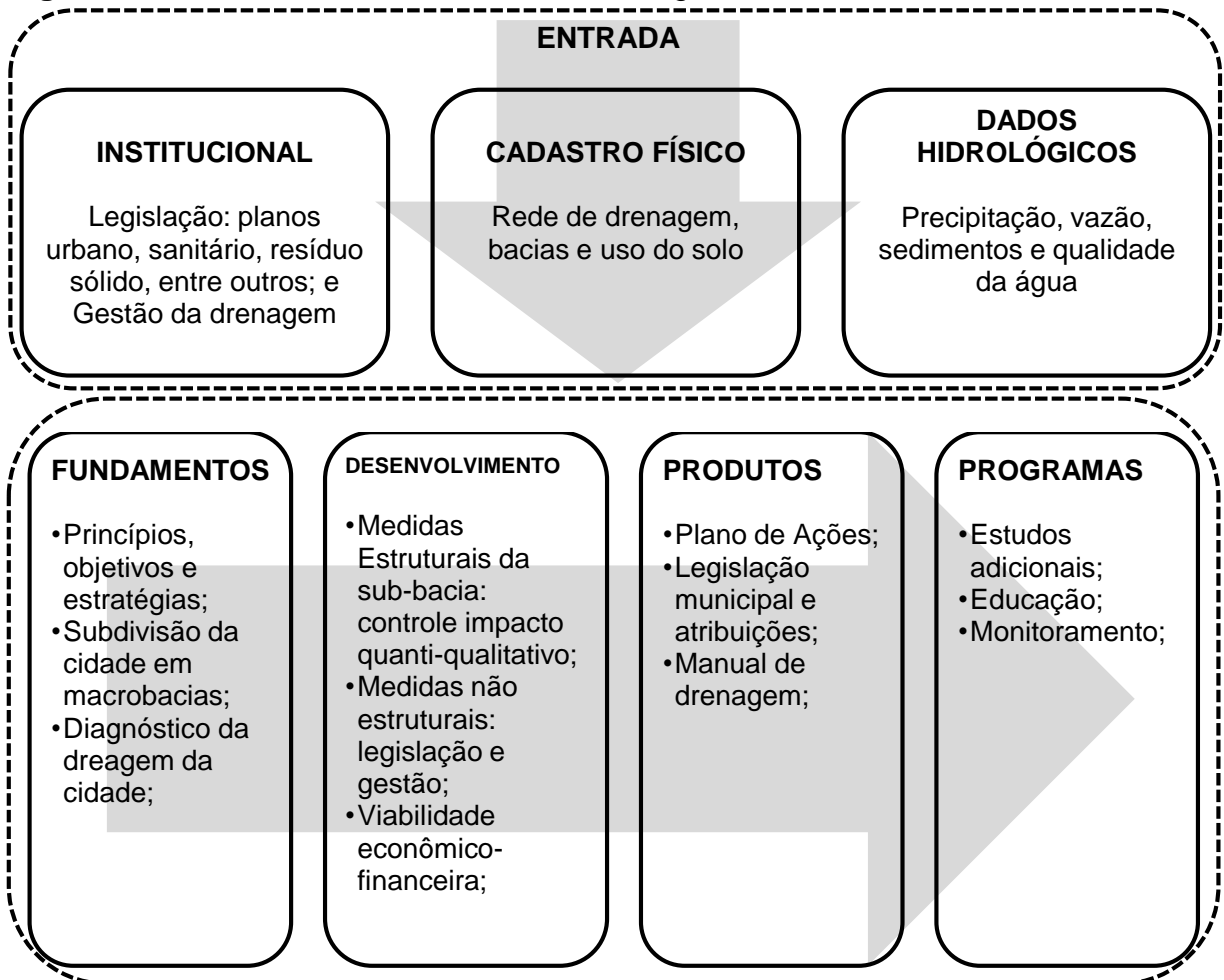
Porto et al. (2009), afirma que a elaboração de plano diretor de drenagem urbana é uma medida altamente recomendável e constitui estratégia essencial para a obtenção de boas soluções para drenagem urbana.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem como objetivo criar os mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana do município. Esse planejamento visa evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade (TUCCI, 2002). De acordo com o mesmo autor, o plano diretor de drenagem urbana é desenvolvido com base em um conjunto de informações, como apresentado na Figura 3.

O plano diretor deve ser elaborado para estudo da bacia com o intuito de solucionar problemas de espaço e tempo, a fim de evitar medidas de caráter restrito, que não transfiram e agravem as inundações a jusante. Outro aspecto

relevante nesses estudos é a necessidade de integração com a comunidade sobre a magnitude dos problemas e de soluções propostas (PORTO et al., 2009).

**Figura 3** - Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana.



**Fonte:** TUCCI, 2002.

Portanto, sem um plano diretor adequado que evite a urbanização indisciplinada da bacia, a frequência das enchentes aumenta significativamente. Tal aumento pode acarretar na desvalorização das propriedades e prejuízos periódicos (PORTO et al., 2009).

Como a maioria das cidades não elabora um plano diretor, ou seja, uma ação preventiva, optam por uma ação corretiva, onde algumas medidas estruturais são necessárias e mesmo essenciais para a solução de um grande número de problemas de inundações urbanas (PORTO et al., 2009). Diante desse cenário, o estudo e aplicações de novas soluções estruturais ganharam grande impulso nas últimas décadas.

### 3.3 MODELOS HIDROLÓGICOS

Segundo Tucci (2005), modelos são ferramentas utilizadas para representar processos e auxiliar na elaboração de prognósticos para gestão dos sistemas naturais, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, tendo como finalidade seu entendimento e a busca por respostas para diferentes entradas.

Devido à heterogeneidade da bacia hidrológica e dos processos envolvidos, a simulação hidrológica é limitada. Por isso, percebe-se o desenvolvimento de um grande número de modelos, que diferenciam entre si em função dos parâmetros utilizados, da discretização, das prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (TUCCI, 2005).

Tucci (2005) expõe que o uso dos modelos hidrológicos se dá de forma a antecipar os eventos, como por exemplo, impactos a serem provocados pela urbanização de uma bacia e medidas preventivas a serem tomadas; previsão de uma enchente em tempo real; impacto da alteração de um rio e a ocorrência de eventos extremos estatisticamente possíveis.

#### 3.3.1 Precipitação e Equação de IDF

Compreende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, tal qual a chuva, granizo, orvalho, neblina, neve, ou geada, onde a diferença se encontra apenas no estado da água (PINTO et al., 1976 e VILLELA; MATTOS, 1975).

As chuvas são a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, portanto faz-se necessário conhecer a forma como esta se distribui no tempo e no espaço, bem como sua quantificação. Em estudos relacionados à disponibilidade hídrica, erosão do solo e controle de inundações, o entendimento do regime de chuvas é fundamental.

A disponibilidade de precipitação numa bacia é o fator determinante para o dimensionamento de obras hidráulicas, assim, Bertoni e Tucci (2009) ressaltam a necessidade de determinar a intensidade da precipitação para o controle de inundações e a erosão do solo em bacias hidrográficas. Os autores ainda afirmam que as características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial.

Damé, Teixeira e Terra (2008) reforçam que para se realizar a caracterização das precipitações, é necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência ou tempo de retorno ( $T_r$ ). Tal relação é comumente denominada de curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), que são geralmente obtidos através de dados pluviográficos. As curvas são ferramentas utilizadas nos processos de transformação chuva-vazão, principalmente em projetos de obras hidráulicas, o qual não se dispõe de dados observados de vazão, tal que é preciso explorar ao máximo as informações relativas à precipitação, bem como ao sistema físico (bacia hidrográfica) para a obtenção da vazão de projeto.

Segundo Fendrich (2011), é possível representar através de gráficos (ou curvas) ou equações ajustadas a relação entre a intensidade, a duração e a frequência de uma determinada chuva. A fórmula geral é apresentada na Equação 5.

$$i = \frac{a \cdot T_r^b}{(t_d + c)^d} \quad \text{Equação 5}$$

Onde tem-se que: a, b, c e d são valores obtidos por meio de ajustes estatísticos;  $i$  é a intensidade da chuva máxima (mm/h);  $T_r$  é o tempo de retorno (anos);  $t_d$  é o tempo de duração da chuva (minutos).

A intensidade da precipitação indica a quantidade (altura) precipitada no tempo. Já o conceito de tempo de retorno ( $T_r$ ), conforme afirma Tomaz (2011), pode ser expresso como o tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou ultrapassado pelo menos uma vez. O tempo de duração ( $t_d$ ) da chuva pode ser escolhido de acordo com as características das precipitações que se desejam simular. Geralmente este tipo de equação apresenta limitações quanto a limites máximos e mínimos para tempo de duração de tormentas, que variam de acordo com os dados pluviométricos utilizados na confecção dessas equações.

Contudo, os dados pluviográficos não estão tão facilmente disponíveis; o que existe em abundância, são dados pluviométricos. Diante dessa realidade, é preciso desenvolver metodologias de estimativas de curvas IDF, em locais que possuam pouco ou nenhum dado pluviográfico (DAMÉ; TEIXEIRA; TERRA, 2008). Em decorrência da grande dificuldade em função da escassez de informações dessa natureza, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observações disponível, a maioria dos estudos de chuvas intensas possui séries

inferiores àquela recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos (SILVA et al., 2002).

Para isso, uma das alternativas possíveis é utilizar uma série de dados de precipitação máxima diária anual do local onde será realizado o estudo hidrológico, que seja representativa, estacionária e homogênea para, a partir dessa, obter alturas de chuva com intervalos de tempo subdiários (DAMÉ; TEIXEIRA; TERRA, 2008). Os dados de precipitação diária são relacionados com vários períodos de retorno através da distribuição de Gumbel, para após serem desagregadas. Ou seja transformar as chuvas de um dia para 24h e então utilizar a relação de precipitações para chuvas de 24h para chuvas de 1h e assim por diante.

A técnica de desagregação, que é de uso corrente na prática da Engenharia, baseia-se nos coeficientes de desagregação, sendo o mais utilizado o Método das Relações (MR) (CETESB, 1986). Sua grande aplicação ocorre, principalmente, pelo fato de ser de uso simples e fornecer resultados satisfatórios na obtenção de alturas de chuvas com duração inferior a diária.

O Método das Relações, segundo Bertoni e Tucci (1993 apud DAMÉ et al., 2006), baseia-se no fato de que as relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações possuem uma grande similaridade para diferentes locais (com uma leve variação de acordo com o tempo de retorno).

De acordo com Righetto (1998) e Cardoso, Ullmann e Bertol (1998), um problema importante na hidrologia é o relativo à análise das maiores precipitações ou vazões observadas para fins de projeto de sistemas hidráulicos e da avaliação de cheias. Quando o tamanho da amostra é grande, pode-se utilizar distribuições assintóticas. Para o caso de valores máximos de precipitação, utiliza-se uma distribuição assintótica chamada de tipo I de Fisher-Tippet, ou distribuição de Gumbel. Através desta análise estatística é possível prever a frequência de ocorrência das chuvas máximas em certas regiões.

Damé, Teixeira e Terra (2008) compararam as metodologias de desagregação de precipitações diárias de Pelotas (RS), referente ao período de 1982-1998, para verificar o ganho de informação em termos de curvas IDF para tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos, comparadas àquelas obtidas a partir de dados observados (histórica). Foram quatro os métodos utilizados: Método das Relações (CETESB, 1979); BELTRAME et al. (1991); ROBAINA & PEITER (1992); Modelo Bartlett-Lewis do Pulso Retangular Modificado (DAMÉ, 2001). Entre os métodos estudados o que

melhor representou as intensidades máximas de precipitação, nos períodos de retorno de 2 e 10 anos, foi o Método das Relações (CETESB, 1979).

Quadros, Queiroz e Vilas Boas (2011) analisaram séries históricas de precipitações máximas para diferentes durações obtidas de pluviógrafos no município de Cascavel (PR), onde foi ajustado um modelo de distribuição de probabilidade de chuva intensa por meio da distribuição generalizada de valores extremos (GEV). Foram utilizados momentos LH para estimar seus parâmetros e o teste estatístico proposto por Wang (1998) para verificação da qualidade dos ajustes desenvolvidos no ambiente Matlab, sendo que as referidas séries foram ajustadas pela distribuição Gumbel para efeito de comparação com a GEV. Concluiu-se que a distribuição Gumbel subestima a distribuição GEV para grandes períodos de retorno.

Silva et al. (1999) fizeram ajuste de distribuição de probabilidade de chuvas intensas usando as distribuições de Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson tipo III para o Estado do Rio de Janeiro onde foi utilizada uma série de 16 anos de dados pluviográficos de 13 estações meteorológicas e para o Espírito Santo onde foi utilizada uma série de 10 anos de 9 estações meteorológicas. Silva et al. (2002) realizaram estudo semelhante para 19 estações pluviográficas localizadas no Estado da Bahia onde foram utilizadas séries históricas com diferentes durações. Após as análises, em ambos os casos, verificou-se que o modelo da distribuição de Gumbel foi que melhor se ajustou para todas as durações estudadas.

### 3.3.2 Modelo de Precipitação-vazão SCS

O ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão é representado pelos modelos precipitação-vazão. Esses modelos descrevem, segundo Tucci (2005), a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação e evaporação, a retenção nas depressões do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e o escoamento subterrâneo, o escoamento superficial, sub-superficial e no rio. Esses tipos de modelos surgiram devido à necessidade da obtenção de séries históricas mais longas e representativas de vazões.

De acordo com Tucci (2005), os modelos de precipitação-vazão são do tipo determinístico, empírico e conceitual. Estes têm como estrutura os modelos de comportamento, que são utilizados para representar o comportamento de um sistema,

ou seja, fazem o prognóstico da resposta de um sistema que está submetido a diferentes entradas ou devido a modificações nas suas características.

O método do Soil Conservation Service (SCS) consiste em determinar a chuva efetiva (escoamento superficial direto) e transformar essa chuva em vazão, utilizando os conceitos básicos do hidrograma unitário.

A origem do método de SCS pode ser remetida à proposta de Sherman (1942 e 1949 apud MISHRA; SINGH, 1999) e no trabalho subsequente de Mockus (1949 apud MISHRA; SINGH, 1999), que desenvolveram um procedimento para calcular o escoamento superficial a partir das informações de tipos de solo e sua cobertura, da precipitação antecedente, tempo de duração e temperatura média anual. Andrews (1949, apud MISHRA; SINGH, 1999) desenvolveu um procedimento gráfico para estimar o escoamento superficial a partir da precipitação para combinações de tipo e textura do solo, quantidade de cobertura vegetal e forma de conservação.

Estes trabalhos serviram como base para o método SCS descrito em Soil Conservation Service (SCS) National Engineering Handbook, Seção 4 (Hidrologia 1985) no trabalho denominado Urban Hydrology for Small Watersheds, realizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Atualmente este órgão é conhecido por NRCS (National Resources Conservation Service).

Devido a sua facilidade e simplicidade de aplicação, o SCS é um dos métodos mais utilizados. Esse modelo é aplicável para áreas que variam de 3,0 km<sup>2</sup> a 250,0 km<sup>2</sup>. Pode ser aplicado em áreas com diferentes tipos de ocupação, apresentando resultados confiáveis, sendo amplamente usados por pesquisadores, de todo o mundo, que almejam obter o escoamento superficial de bacias com diferentes tipos de uso do solo.

No modelo SCS um dos principais parâmetros utilizados é o CN, também chamado de “curva número”, que varia numa escala de 1 a 100, que é obtido através de tabelas próprias. Segundo Tucci (2005), esta escala retrata as condições de cobertura e tipo de solo, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior).

Para Paula et al. (2012) os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) e o sensoriamento remoto aliado ao geoprocessamento digital de imagens são ferramentas importantes para o mapeamento e monitoramento dos recursos naturais terrestres. Além disso, o baixo custo, a facilidade e periodicidade de aquisição fazem com que o uso de imagens de satélite sejam cada vez mais empregados. De acordo

com Iwai (2003) estas ferramentas podem também fornecer subsídios para tomada de decisão no planejamento do uso urbano.

Através do desenvolvimento e disseminação dos sistemas sensores a bordo de satélites, a utilização de imagens dos satélites tornou-se uma opção viável para a obtenção de mapas de uso e ocupação do solo e, assim, estimar áreas impermeáveis. Com o uso destas, aliada ao método SCS, é possível estimar o CN médio que represente a área em estudo, tal que sirva como base para conhecimento do comportamento hidrológico da área.

### 3.4 SENSORIAMENTO REMOTO

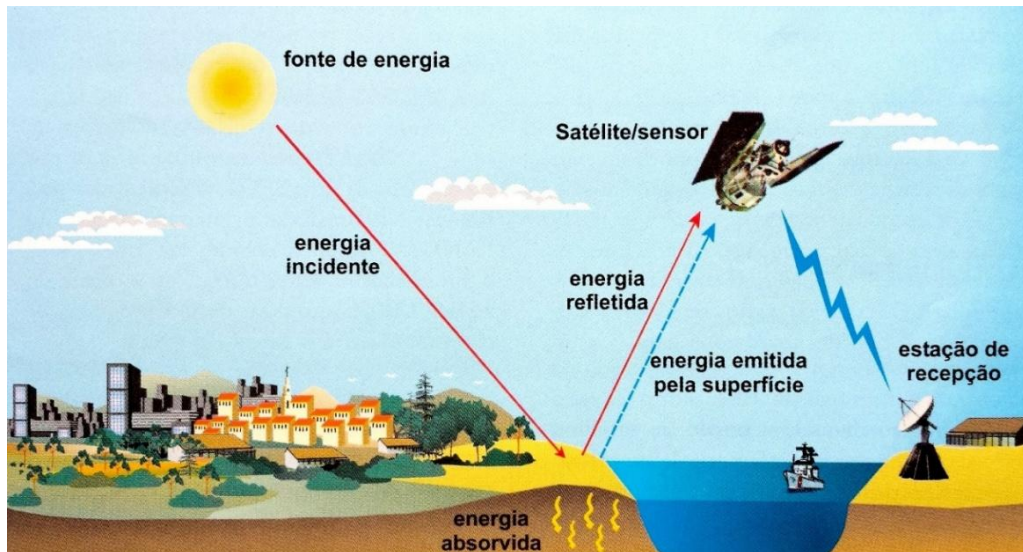
Uma definição mais elaborada de sensoriamento remoto seria, de acordo com Novo (1998), a utilização de um conjunto de modernos sensores, equipamentos de processamento de dados e de transmissão de dados, satélites, etc., com o intuito de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Como dito anteriormente, a energia usada em sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz (300.000 km/s), sendo que esta é uma das principais fontes de energia disponíveis entre o Sol e a Terra (Figura 4). Esta energia é medida em frequência (em unidades de hertz – Hz) e comprimento de onda (em unidades de metros) (FLORENZANO, 2002).

Segundo Novo (1998), os sensores remotos são equipamentos capazes de coletar a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais).

Existem sensores operando em diferentes regiões ópticas do espectro eletromagnético, óptica por conta da utilização de componentes ópticos na sua construção (como lentes, prismas e espelhos). São classificados em função da energia que detectam, como: sensores termais (ou infravermelho distante), sensores de energia solar refletida (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio) e sensores de micro-ondas (NOVO, 1998).

**Figura 4** - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.



Fonte: FLORENZANO, 2002.

Os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-física-químicas. A representação dos objetos nas imagens variam em diferentes tons de cinza, do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia), fazendo-se possível a distinção de objetos (FLORENZANO, 2002).

De acordo com Novo (1998), ao se projetar e sobrepor essas imagens, através de feixes de luz coloridos, é possível gerar imagens coloridas. Existem dois processos básicos de formação de cores, o aditivo e o subtrativo. O aditivo consiste na combinação de cores primárias (Vermelho, Verde e Azul), já o subtrativo são utilizados filtros de absorção que controlam a transmissão de luzes primárias, os filtros são das cores ciano (azul + verde), magenta (azul + vermelho) e amarelo (verde + vermelho).

Essas imagens dependem da quantidade de energia refletida pelos objetos, das misturas das cores e da associação das cores com as imagens (FLORENZANO, 2002). Com as imagens infravermelho colorido pode-se gerar imagens falsa-cor, ou seja, imagens que não reproduzem suas cores verdadeiras (do olho humano). Esta técnica foi desenvolvida na II Guerra Mundial com o intuito de detectar camuflagens de alvos pintados de verde para imitar a vegetação, hoje pode ser utilizada para diferenciar gramas sintéticas das naturais (FLORENZANO, 2002).

Pode-se citar alguns trabalhos realizados na área de sensoriamento remoto, com enfoque na utilização de tal técnica para análises multitemporais. Paula et al. (2012) realizaram uma análise multitemporal na Zona de Expansão Urbana Norte na cidade de Londrina (PR), para os anos de 1987 e 2004, utilizando os satélites LANDSAT-5 e SPOT-5. Foi constatado o crescimento da área urbana e de chácaras sobre a cobertura vegetal, como também o contínuo predomínio da atividade agrícola e de pastagem, comuns na região.

O estudo realizado por Fichera, Modica e Pollino (2012) em Avellino (Sul da Itália) analisou as mudanças do uso e cobertura do solo em 50 anos, de 1954 a 2004. Foram utilizadas, além das imagens de satélite do LANDSAT, imagens aerofotogramétricas (apenas para 1954). Estes autores notaram que as mudanças da cobertura do solo estão associadas tanto a aspectos sociais como ambientais. A mais forte demonstração disso é que após o terremoto Irpinia (em 1980), com leis de zoneamento específicas e planejamento urbano, ocorreram mudanças significativas na paisagem.

#### 3.4.1 Satélites

A definição de satélite é de um objeto que se desloca em círculos em torno de um outro objeto (FLORENZANO, 2002). Tem-se os satélites naturais, como a Lua, e os artificiais, criados pelo homem, onde ambos giram em torno da Terra. Os satélites artificiais estão cada vez mais presentes no cotidiano da vida moderna.

Existem vários tipos de satélites artificiais, são eles: os satélites de comunicação; os satélites de televisão; os satélites científicos; os satélites espões ou de fins militares; os satélites meteorológicos; e os satélites de sensoriamento remoto de recursos naturais (MOREIRA, 2003).

Conforme EMBRAPA (2016), algumas das missões de satélites de sensoriamento remoto de recursos naturais em atividade atualmente, são: LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), IKONOS e QUICK-BIRD dos Estados Unidos; SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) da França, com participação da Suécia, Bélgica e Itália; RADARSAT do Canadá; TERRA dos Estados Unidos, com participação da Japão e Canadá e CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) parceria entre Brasil e China.

### 3.4.1.1 LANDSAT

A National Aeronautics and Space Administration (NASA) e United State Geological Survey (USGS) são as instituições responsáveis pela série LANDSAT. Segundo Novo (1998) essa série de satélites (ou missão) iniciou na segunda metade da década de 60, com o desenvolvimento da missão Earth Resource Technology Satellite (ERTS) nos Estados Unidos. Em 23 de Julho de 1972, foi lançado o satélite ERTS-1, primeiro satélite desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais. Em Janeiro de 1975 a missão passou a se chamar LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite).

O sistema LANDSAT tem como principal objetivo o mapeamento multiespectral em média resolução da superfície da Terra. Os instrumentos sensores a bordo dos satélites LANDSAT foram, de acordo com EMBRAPA (2016): RBV (LANDSAT 1, 2 e 3); MSS (LANDSAT 1, 2, 3, 4 e 5); TM (LANDSAT 4 e 5); ETM (LANDSAT 6); ETM+ (LANDSAT 7); OLI e TIRS (LANDSAT 8).

Com período de revisita variando de 18 dias (LANDSAT 1, 2 e 3) e 16 dias (LANDSAT 3, 4, 5, 6, 7 e 8) (EMBRAPA, 2016), a resolução temporal dos satélites LANDSAT apresentam grande vantagem sobre os demais na realização de estudos temporais, ou seja, de mudanças temporais e desenvolvimento do uso do solo. Isso se deve ao fato de estarem constantemente imageando a superfície terrestre, não necessitando de programação prévia. Tais imagens são armazenadas, permitindo a recuperação de dados antigos (desde seu lançamento) (IWAI, 2003).

Atualmente o único satélite em operação é o LDCM (Landsat Data Continuity Mission) ou LANDSAT-8, que foi lançado em 11/02/2013. Esse satélite leva a bordo os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). O sensor OLI dará continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, já o sensor TIRS inclui duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens tipo cirrus (EMBRAPA, 2016).

As principais aplicações do LANDSAT são (EMBRAPA, 2016):

- Mapeamentos temáticos nas áreas de: agricultura, silvicultura, queimadas, proteção e conservação da natureza, monitoramento ambiental, poluição;

- Hidrologia, recursos naturais, mapeamentos de áreas alagadas, eutrofização;
- Prospecção geológica, atualização de mapas e cartas, classificação de tipos de rochas, pedologia, recursos minerais, mapas geomorfológicos;
- Mapas de uso e cobertura das terras, atualização de mapas e dados cartográficos, mapas de aptidão agrícola das terras, identificação de áreas irrigadas, mudanças climáticas;
- Planejamento urbano e regional, infraestrutura, indicadores sociais, etc.

### 3.4.2 INPE e DGI

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o principal órgão civil brasileiro responsável por pesquisas e exploração espacial no país, criado em 1971. O INPE tem como missão produzir ciência e tecnologia nas áreas espacial e do ambiente terrestre, atuando nas áreas de meteorologia e mudanças climáticas, observação da Terra, ciências espaciais e atmosféricas e engenharia espacial (INPE, 2016). Esse instituto ainda possui laboratórios associados em computação aplicada, combustão e propulsão, física de materiais e de plasmas (MCTI, 2016).

Por meio do Programa China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS), a parceria técnico-científico espacial entre o Brasil e a China já lançou cinco satélites, sendo que o último lançamento ocorreu no dia 7/12/2014 (CBERS-4). Os dados do CBERS são utilizados para o monitoramento do meio ambiente, avaliação do desmatamento, áreas agrícolas e desenvolvimento urbano. Esse programa foi o responsável pela popularização do uso de imagens orbitais no Brasil (MCTI, 2016).

No Brasil, as primeiras imagens do LANDSAT foram recebidas em Abril de 1973, com a implantação da estação de recepção de dados de satélites de sensoriamento remoto, em Cuiabá (MT) (INPE, 2016). A estação de processamento de imagens fica em Cachoeira Paulista (SP), onde ocorre a correção e transformação dos dados em imagens. O Brasil tem hoje um dos maiores acervos de imagens do mundo.

A Divisão de Geração de Imagens (DGI), da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT), do INPE, é responsável pela recepção, processamento e distribuição de imagens de sensoriamento remoto adquiridas por satélites. O Banco de Imagens da DGI/INPE está disponível gratuitamente na página de Internet

Catálogo de Imagens (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). No site é possível realizar as seguintes operações: pesquisas de imagens; cadastro junto ao INPE; acesso ao Catálogo; e download de dados.

As imagens disponíveis no Banco de Dados são dos satélites: AQUA, TERRA, S-NPP, UK-DMC-2, LANDSAT-1, LANDSAT-2, LANDSAT-3, LANDSAT-5, LANDSAT-7, LANDSAT-8, CBERS-2, CBERS-2B, RESOURCESAT-1, RESOURCESAT-2.

### 3.4.3 SPRING

O Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas ou SPRING é um projeto da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE) com a participação de outras entidades que contribuíram para o desenvolvimento de seu código (CÂMARA et al, 1996). Esse programa está disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>.

O SPRING é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica do terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Teve sua primeira versão lançada em 1991, sendo desde então gratuito, se tornando um software open source (com código fonte aberto) apenas em 2010.

O SPRING é composto por vários módulos com funções específicas, sendo eles: SPRING, IMPIMA e SCARTA. O SPRING é o módulo que agrupa um conjunto de ferramentas para o Geoprocessamento, tal como o tratamento digital de produtos de sensoriamento remoto, análise espacial, manipulação de dados geográficos, etc. (MEDEIROS, 2012). Já o IMPIMA é o módulo que permite a conversão de imagens de satélite de diversos formatos para o tipo de arquivo utilizado no SPRING. E o SCARTA é o módulo com a finalidade de gerar produtos cartográficos (como por exemplos mapas e cartas) em vários formatos gráficos, prontos para impressão (MEDEIROS, 2012).

Conforme explica Câmara et al. (1996), o projeto SPRING tem como objetivos:

- Construir um SIG para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional;

- Tornar amplamente acessível para a comunidade brasileira um SIG de rápido aprendizado;
- Fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais;
- Ser um mecanismo de difusão do conhecimento desenvolvido pelo INPE e seus parceiros, sob forma de novos algoritmos e metodologias.

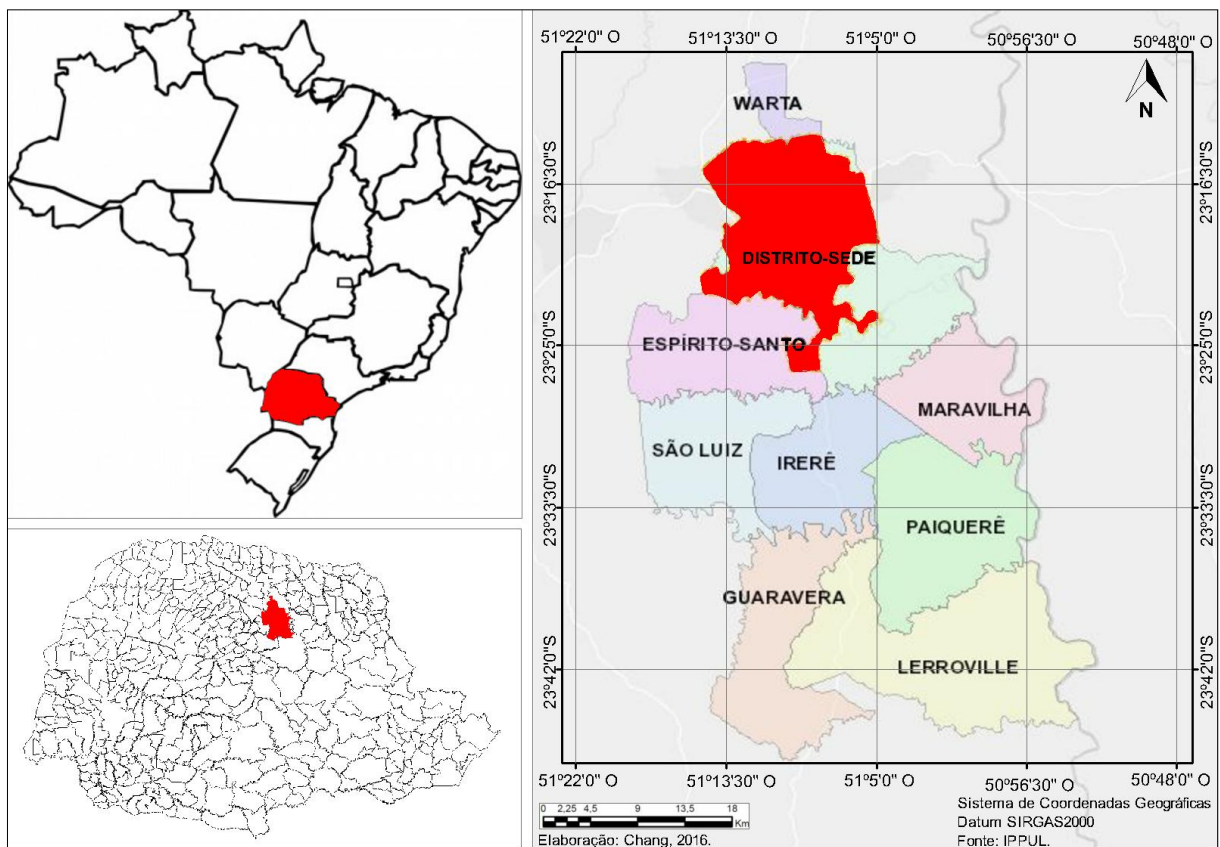
Atualmente, o software SPRING se encontra na versão 5.3.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 ASPECTOS GERAIS

O município de Londrina está localizado na região Norte do Estado do Paraná (Latitude 23° 18' 37" Sul e Longitude 51° 09' 46" Oeste). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE/2015), a área do município é de 1.652,57 km<sup>2</sup> e a população estimada em 2015 de 548.249 habitantes, concentrada predominantemente na área urbana. O município é constituído pelo Distrito Sede e por mais oito distritos: Espírito Santo, Guaravera, Irerê, Lerroville, Maravilha, Paiquerê, São Luiz e Warta. A Figura 5 apresenta a localização do município.

**Figura 5** - Localização do perímetro urbano do município de Londrina-PR.



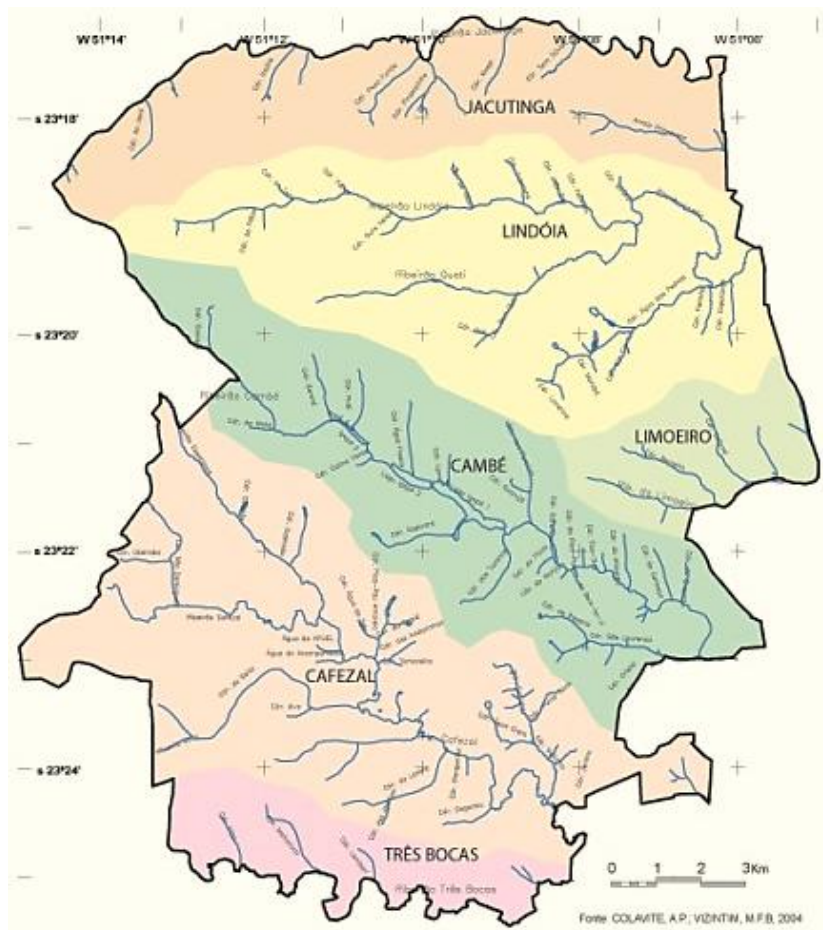
**Fonte:** A autora.

A cidade de Londrina está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, que corresponde a 13% da área do estado, sendo a bacia dividida em duas Unidades Hidrográficas (UH) de Gestão de Recursos Hídricos, o Alto e o Baixo Tibagi.

O município de Londrina, que corresponde 6,6% da área total da bacia, está inserido no Baixo Tibagi. Essa UH tem também como um dos principais afluentes do Rio Tibagi (situado a margem leste do município) o Ribeirão Três Bocas, que é a foz do Ribeirão Cambé (SEMA, 2013).

De acordo com Vizintim et al. (2015) a rede de drenagem de Londrina é densa e bem distribuída e é composta pelas seguintes bacias: Jacutinga, Lindóia, Cambé, Limoeiro, Cafezal e Três Bocas, conforme indica a Figura 6. A área urbana de Londrina ocupa 245,52 km<sup>2</sup> dessas bacias e a extensão total dos cursos d'água de aproximadamente 240 quilômetros.

**Figura 6** - Bacias hidrográficas na área urbana de Londrina-PR.



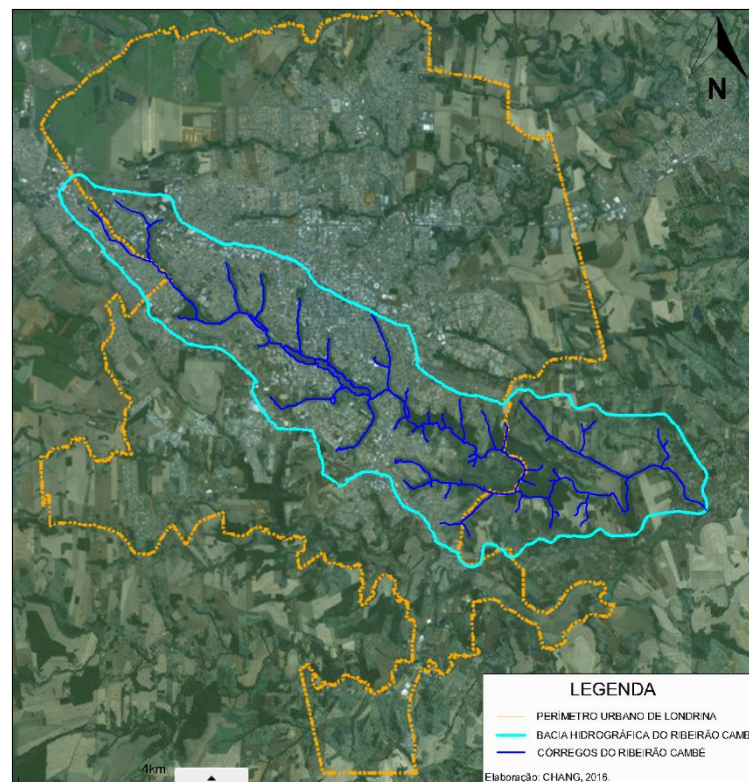
**Fonte:** VIZINTIM et. al., 2015.

Os córregos do município são todos de caráter perene e estão dispostos na direção e sentido oeste-leste, uma vez que tem como foz o Rio Tibagi (FARIA, 2005). De modo geral, a hidrografia de Londrina sofreu os impactos da

intensa urbanização da cidade, que levaram a canalizações de alguns rios, além da antropização dos mananciais naturais.

O Lago Igapó é um lago artificial localizado ao sul do município, cujo significado do nome na língua tupi é “transvasamento de rios”. Foi idealizado em 1957 na gestão do prefeito Antônio Fernandes Sobrinho, como resultado do represamento do Ribeirão Cambé (Figura 7). O propósito da criação foi de solucionar o problema de drenagem do Ribeirão Cambé, que, por conta de uma barragem natural de rocha, transformava as áreas rurais próximas à região em um enorme charco (IWANAGA, 1989).

**Figura 7** - Localização da Bacia do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR.



**Fonte:** A autora.

Hoje, o Lago Igapó é um espaço natural de lazer e práticas esportivas, contribuindo também para o embelezamento paisagístico da cidade. As regiões de entorno do Lago, centro-sul, são tidas como as mais valorizadas da cidade, com construções verticais de alto e médio padrão. É também um dos principais pontos turísticos de Londrina, sendo considerado o cartão postal da cidade.

O complexo do Lago Igapó é subdividido em quatro lagos (I, II, III e IV), cuja fragmentação é oriunda do cruzamento com ruas e avenidas, como ilustra a Figura 8. É composto também por um aterro (entre os Lagos II e III), onde são realizadas práticas esportivas e exercícios físicos, assim como diversos tipos de eventos. Após transpor os quatro lagos, finaliza-se o percurso na barragem.

**Figura 8** - Composição do Lago Igapó.



**Fonte:** A autora.

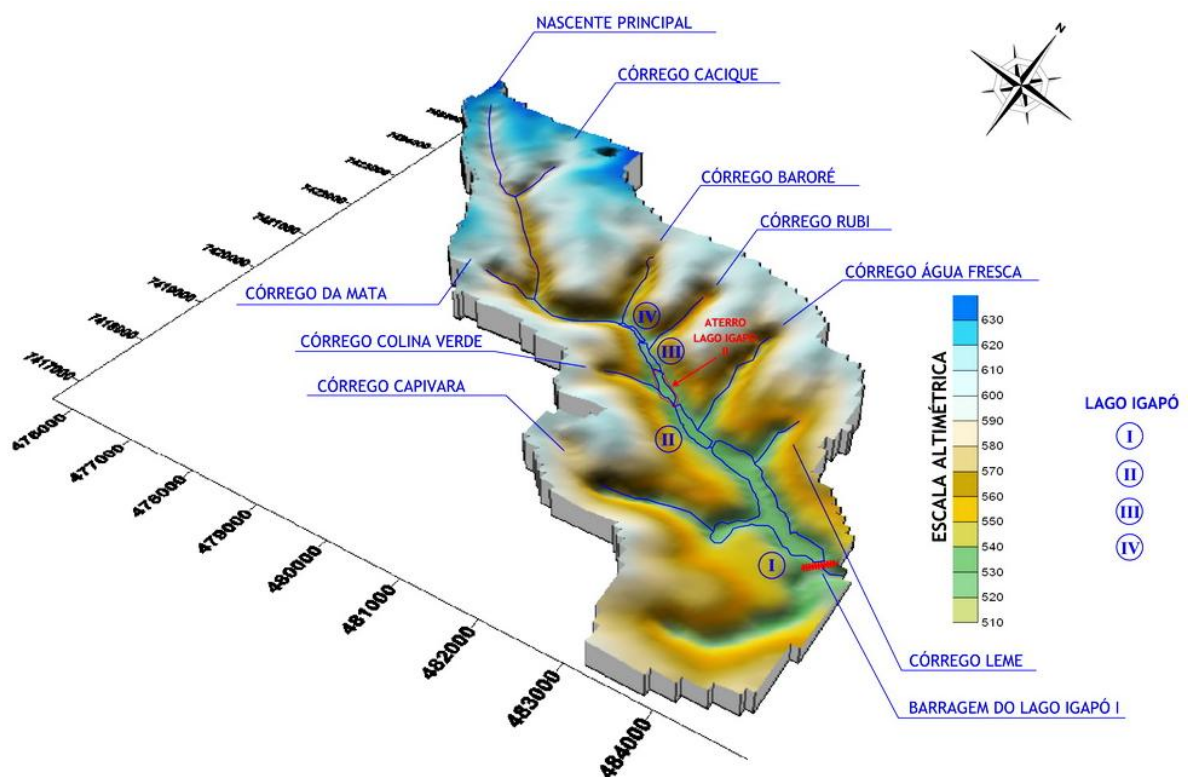
A barragem está situada ao final do Lago Igapó I (Latitude 23°20'18.21" S e Longitude 51° 9'6.89" O) e é composta por vinte e cinco vertedouros para o controle de vazão, com 6,5 metros de altura e 142 metros de comprimento

(HIGUCHI, 1986). A alusão de vinte e cinco vertedouros é uma homenagem ao jubileu de prata de Londrina.

O Ribeirão Cambé nasce em um platô de 600m de altitude (Latitude  $23^{\circ}17'06,5''$  S e Longitude  $51^{\circ}14'00,0''$  O), no trevo das estradas Londrina/Cambé – São Paulo/Curitiba, em um percurso de 21,5 quilômetros (sentido noroeste-sudeste) de relevo homogêneo, até desaguar no Ribeirão Três Bocas. A região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé apresenta uma variação de altitude de 400 a 630 metros em forma de degraus, sendo dividida em três estratos: Superior, Médio e Inferior (TAGIMA e TERABE, 2005).

Ainda, segundo Tagima e Terabe (2005), o estrato superior do Ribeirão Cambé possui extensão de 11 quilômetros, isoípsas variando entre 630 e 520m e área de aproximadamente 3.900 hectares. O estrato superior começa em Cambé e abrange parte do núcleo urbano de Londrina, constituindo os quatro lagos que formam o Lago Igapó, conforme a Figura 9.

**Figura 9** - Delimitação da área de estudo.



**Fonte:** SANTANA, CAVALARO E DE ANGELIS, 2012. (Valores de curvas de nível obtidos através da carta topográfica Sf.22-Y-D-III-4, folha Londrina. Elaborado por DALBÓ & CAINZOS, 2011.)

O Ribeirão Cambé tem em sua totalidade 25 afluentes, dois estão entre a nascente e o Lago IV, seis estão na extensão do complexo do Lago Igapó (I, II, III e IV) e após a barragem do Lago Igapó I, recebe mais 17 afluentes. Os córregos que desembocam nos lagos são: Baroré, Rubi, Colina Verde, Água Fresca, Leme e Capivara.

Estão inseridos na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé os seguintes bairros londrinenses: Cilo 2, Bandeirantes, Sabará, Jamaica, Universidade, Champagnat, Presidente, Palhano, Centro Histórico, Ipiranga, Vila Brasil, Quebec, Higienópolis, Guanabara, Bela Suíça, Petrópolis, Tucanos, Inglaterra, Jardim Piza, Califórnia e Parque Indústria.

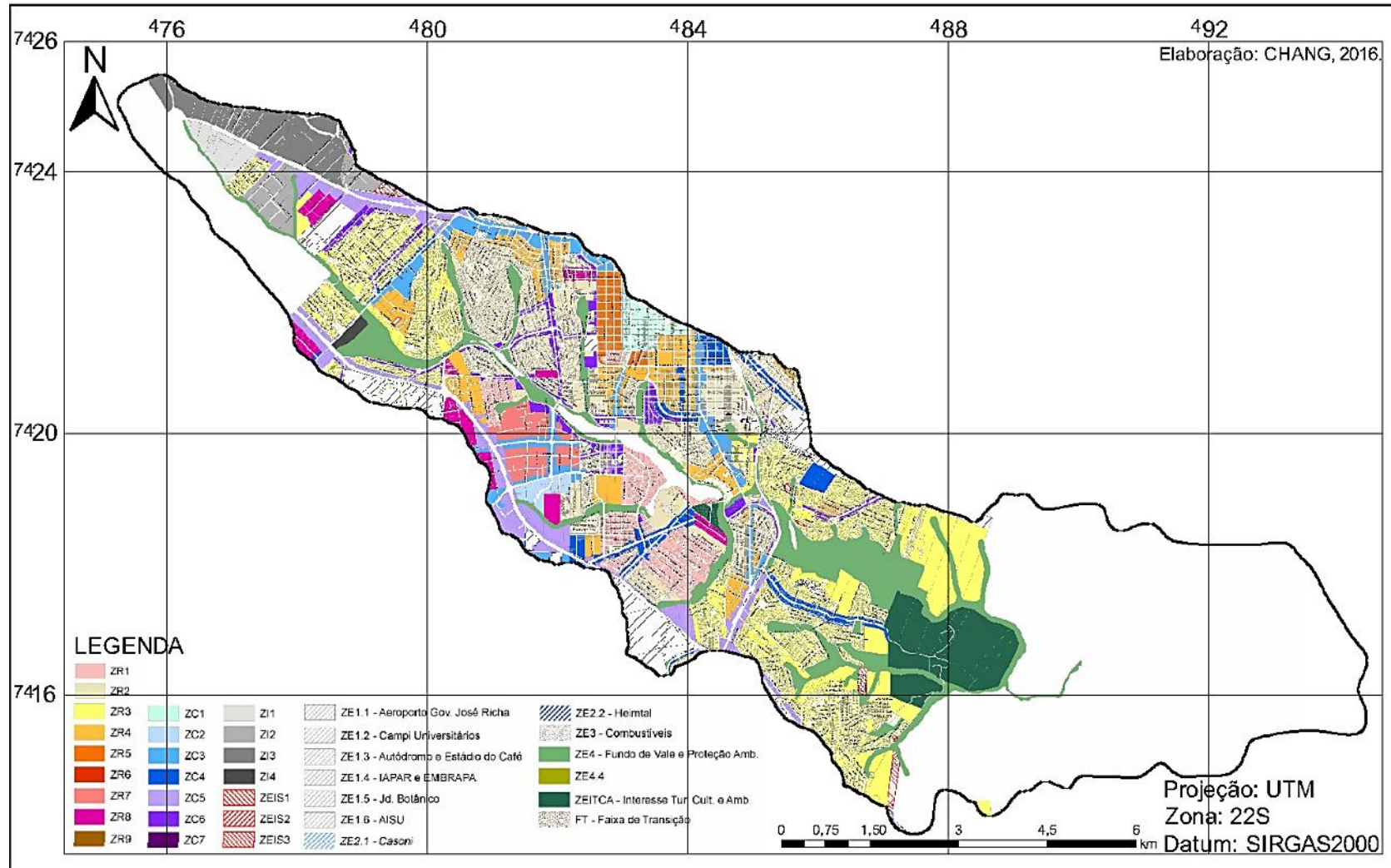
De acordo com a Lei nº 12.236, de 29 de Janeiro de 2015, da Prefeitura do Município de Londrina, Estado do Paraná, que dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo no Município de Londrina e dá outras providências (IPPUL, 2016), as zonas que compreendem o Ribeirão Cambé são apresentadas na Figura 10.

Ao analisar o Zoneamento Urbano de Londrina é possível observar que na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé estão inseridas as ZRs (Zonas Residenciais), as ZCs (Zonas Comerciais), as ZIs (Zonas Industriais), as ZEISs (Zonas Especiais de Interesse Social), as ZEs (Zonas Especiais) e as ZEITCA (Zona Especial de Interesse Turístico, Cultural e Ambiental). Dentre as ZEs que compõem a bacia, estão o aeroporto, o campus universitário da UEL e o IAPAR.

Tagima e Terabe (2005) indicam que o Lago Igapó, recebe, além das águas pluviais e afluentes, despejos de esgotos clandestinos e efluentes industriais, como também o descarte irregular de resíduos sólidos. Tal afirmação pode ser confirmada através de visita *in loco*, uma vez que é possível observar resíduos à beira das margens e identificar o odor proveniente de esgoto clandestino em alguns pontos. No entanto deve-se salientar que, após ações de conscientização ambiental por parte da Prefeitura de Londrina, houve significativa melhora.

O clima na bacia do Ribeirão Cambé caracteriza-se na classificação de Köppen por Cfa, isto é, clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (IAPAR, 2015).

Figura 10 - Zoneamento Urbano da Bacia do Ribeirão Cambé em Londrina (PR).



Fonte: A autora.

A temperatura média anual dos últimos 30 anos é de 21,3°C, com média anual máxima de 29,7°C (que ocorre no mês de fevereiro) e a média anual mínima de 11,7°C (que ocorre no mês de maio). A média anual de umidade relativa do ar é de 71% (Resende, 2010). A faixa de precipitação no ano é de 1.400 a 1.600 mm, sendo que a faixa de precipitação nos meses menos chuvosos, junho, julho, agosto é de 175 a 250 mm e nos meses mais chuvosos, dezembro, janeiro e fevereiro, é de 500 a 600 mm (LONDRINA, 2009).

O regime dos ventos predominantes é de leste e nordeste e apresenta uma velocidade média de 2,6 m/s. Devido à situação latitudinal da cidade de Londrina (sob o trópico de Capricórnio) e suas baixas cotas altimétricas, ocorre um intenso fluxo de sistemas atmosféricos de altas e baixas temperaturas, o que produz intensificação na velocidade dos ventos (LONDRINA, 2009). Em tais condições, registradas principalmente nas estações de primavera e verão, os ventos mudam genericamente de direção, passando a soprar de oeste e sudoeste, mas não chegam a atingir a área urbana (IAPAR, 2015).

Segundo a MINEROPAR (2006), Londrina encontra-se geomorficamente sobre a Bacia Sedimentar do Paraná (unidade morfoestrutural). A unidade morfoescultural é o Planalto de Guarapuava ou Terceiro Planalto, onde se evidencia, ao lado de pequenos espigões que constituem divisores de águas secundários, apenas suaves colinas e platôs (MAACK, 2002). Está situada na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina, que apresenta dissecação média, com altitudes variando entre 360 (mínima) e 1.180 (máxima) metros sobre o nível do mar. As formas predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em "V", modeladas em rochas da Formação Serra Geral, oriunda de um grande derramamento basáltico (MINEROPAR, 2006).

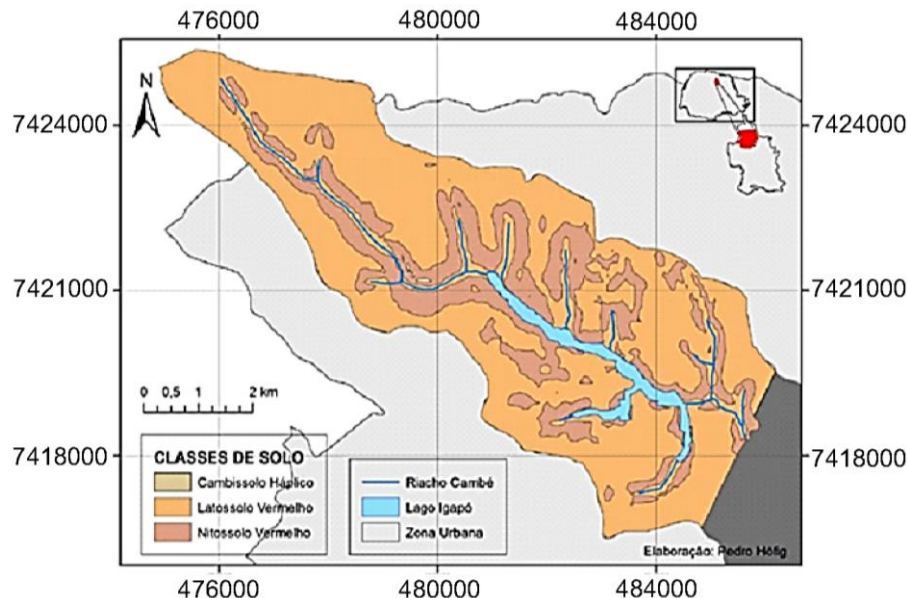
As classes de solos predominantes em Londrina são, de acordo com classificação feita por Barros et al. (2015), Latossolo Vermelho Eutroférico, Distroférico e Aluminoférico; Nitossolo Vermelho Eutroférico e Distroférico; Chernossolos e Litossolos. A Figura 11 apresenta a classificação do solo no estrato superior do Ribeirão Cambé.

Conforme o estudo de Cavalcante et al. (2007) no Campo Experimental da Universidade Estadual de Londrina (UEL), o perfil geotécnico característico é constituído por um horizonte superficial evoluído (horizonte B), bastante poroso e com fortes características de solo laterítico, com cerca de 10 m de

espessura. É seguido de um horizonte com características de solo residual, com estrutura “reliquiar” do basalto, inicialmente em grau muito leve a moderado, se evidenciando com a profundidade. Por último encontra-se o horizonte de rocha alterada, com grau de alteração decrescente com a profundidade, sobrejacente à rocha sã.

O primeiro estrato pode ser classificado como argila siltosa (quando utilizado o defloculante), como silte argiloso (quando as determinações ocorrem sem o defloculante). O solo do primeiro estrato do perfil do campo experimental da UEL, em linhas gerais, é classificado como argila porosa, vermelha, de consistência mole a média, colapsível e laterítica (CAVALCANTE et al., 2007).

**Figura 11** - Classes de solo no estrato superior da bacia do Ribeirão Cambé.



**Fonte:** Hofig, 2012.

#### 4.2 BREVE HISTÓRICO DO LAGO IGAPÓ

O Lago Igapó é um lago artificial idealizado em 1957 e inaugurado em 10 de Dezembro de 1959, jubileu de prata de Londrina, para resolver o problema de drenagem do Ribeirão Cambé. Hoje é a maior área verde da cidade de Londrina, além de ser área livre de uso público para atividades esportivas e de lazer.

Conforme descreve Bortolo (2009), após sua inauguração, a região do Lago Igapó passou por um processo de desvalorização por conta da dificuldade de acesso e descaso dos órgãos públicos municipais, ficando abandonada até o ano de

1969. Neste mesmo ano, no governo de Dalton Paranaguá (1969-1972), foi desenvolvido o projeto de revitalização e recuperação do Igapó I pelo paisagista Roberto Burle Marx, no entanto este foi parcialmente implantado em 1974.

Na gestão do prefeito José Richa (1973-1976), foi construída a barragem entre os lagos Igapó I e Igapó II, criando assim, uma diferença de nível de um metro entre os lagos. Ainda sob a gestão de Richa, em 1976 é realizado o primeiro desassoreamento (esvaziamento e limpeza) do Igapó I. O aterro do Lago Igapó II foi construído em 1985, na gestão de Wilson Moreira, sob alegação sanitária (MAEDA, 2008).

Em meados da década de 90, na gestão de Antônio Belinati (1989-1992) foi realizado um mutirão para a retirada de entulhos e detritos existentes no Lago Igapó I. Já na gestão do prefeito Luiz Eduardo Cheida (1993-1996), foi executada a revitalização do Lago Igapó I, e novamente o esvaziamento, desassoreamento e limpeza do mesmo (MAEDA, 2008).

No início dos anos 2000, com o crescimento e desenvolvimento do bairro Gleba Palhano, houve a necessidade de um novo esvaziamento do Igapó II para a limpeza e desassoreamento do Lago no ano de 2001, na gestão de Nedson Micheleti (2001-2008). Em 2002, o entorno do Igapó II foi urbanizado (ECOMETRÓLOPE, 2015).

Perante os problemas observados no Lago Igapó foram criados diversos programas ambientais na cidade, como o Pró-Igapó (Programa Permanente de Promoção Preservação e Recuperação da Bacia do Cambezinho). Esse programa foi lançado em 1998 para incorporar o conceito de bacias hidrográficas em Londrina, no entanto não teve a participação efetiva da prefeitura e demais instituições. Em 2007 foi criado o programa Ácquametrópole consolidando ainda mais o conceito de gestão de bacias hidrográficas. No mesmo ano foi lançado pela prefeitura municipal o projeto Rio da Minha Rua, mas não gerou o efeito esperado. Em 2009 é criado o Programa Ecometrópole, com o intuito de preservar o Lago Igapó, como também os recursos hídricos de Londrina, além de estimular a ecocidadania (ECOMETRÓLOPE, 2015).

Assim, conforme analisado por Bortolo (2009), vê-se que a apropriação do entorno do Lago Igapó se deu através de algumas estratégias do mercado imobiliário. A proximidade da natureza e do belo gerou a expansão físico-territorial da zona sul do município a partir da década de 1980, com a criação de

shopping centers, conjuntos habitacionais, loteamentos, condomínios verticais e horizontais.

Diante da importância do Lago Igapó e da Bacia do Ribeirão Cambé para o contexto londrinense são realizados diversos trabalhos acerca da questão ambiental, social e econômica, sejam eles nas áreas de exatas ou biológicas. Serão apresentados a seguir alguns destes estudos mais recentes com enfoque na qualidade da água do Lago Igapó e o uso e ocupação do solo do entorno.

Faria (2005) fez um estudo comparativo em um período de três décadas (1970 – 1999) das formas de uso e ocupação do solo da Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé. Neste estudo foram analisadas as modificações na paisagem local (elementos físicos, biológicos e antrópicos), fazendo uso de ferramentas computacionais como o SIG (Sistema de Informação Geográfica). Destarte, foi analisada a apropriação desse espaço pela malha urbana durante o período observado através das cartas temáticas elaboradas.

Maeda (2008) estudou o sistema de áreas verdes que compõe a microbacia do Ribeirão Cambé, onde se insere o Lago Igapó. Tal estudo teve como objetivo criar um sistema de espaços livres para lazer e conservação ambiental, melhorando assim, a qualidade de vida da população. Uma de suas observações é que o Lago Igapó em sua extensão apresenta infraestrutura diferenciada, no qual o Igapó I e II receberam melhorias (revitalização e recuperação) ao longo dos anos, enquanto que os Lagos Igapó III e IV sequer sofreram algum tipo de intervenção pública, evidenciando assim a disparidade nas classes sociais que frequentam tais espaços.

Em estudo realizado por Noale (2007) para avaliar a distribuição de metais (Al, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn) em amostras de sedimentos do Lago Igapó e em solos adjacentes foi comprovado que “boa parte dos metais presentes no sedimento tem origem antrópica e/ou que por consequência das atividades antrópicas a disponibilização dos metais foi alterada nessa matriz”, no entanto ao analisar isoladamente cada critério, esses não indicaram haver risco ambiental. Em estudo semelhante realizado por Melquiades et al. (2008) usando a metodologia EDXRF, foi constatado não haver contaminação por metais pesados no Lago Igapó no período monitorado.

Gonçalves (2008) avaliou a qualidade da água superficial do Lago Igapó em um regime de dez anos de monitoramento e a relação com o uso e ocupação

do solo. Foram avaliados parâmetros físicos, químicos e biológicos para determinar a qualidade da água através da utilização de índices de qualidade (IQAR e AIQA). Foi constatado o aumento do lançamento de esgoto doméstico no Lago por conta do aumento gradativo das concentrações de carga orgânica, nutrientes e coliformes. A maioria das amostras analisadas tinham seus parâmetros fora dos preconizados, tais como: clorofila-a, cianobactérias, fósforo, oxigênio dissolvido, entre outros.

Em estudo realizado por Schuroff et al. (2014) no Lago Igapó para avaliar a qualidade da água quanto ao uso recreativo, foram realizados ensaios para detectar e quantificar coliformes totais e *Escherichia coli* no mesmo. Assim, foi constatado que as águas dos lagos Igapó I, II, III e IV estavam contaminadas pela bactéria *E. coli*, além da presença de *E. coli* diarreio gênica e a presença de duas cepas de EPEC atípica (Igapó I e IV). O uso recreativo do Lago Igapó conforme a Resolução CONAMA 357/2005 para contato primário só é permitido nos lagos Igapó I, II e IV, já para contato secundário todos os lagos foram classificados como próprios. Foi identificada influência da sazonalidade com a quantidade da bactéria *E. coli*.

Pardo (2009) propôs um modelo bidimensional, na horizontal (2DH), para simular a dinâmica da concentração de poluentes em todo o corpo d'água do Lago Igapó I. Fazendo-se uso do método de elementos finitos estabilizado, por meio de uma formulação semi-discreta, foi resolvido o modelo de transporte e reações do ciclo carbono-nitrogênio. Através das simulações numéricas, verificou-se que as maiores concentrações de nitrito e nitrato ocorreram nos vórtices do Lago, sendo este caracterizado como o mais poluído.

#### 4.3 ALAGAMENTOS NO LAGO IGAPÓ E ENTORNOS

Nos últimos cinco anos, a cidade de Londrina/PR tem sofrido constantes danos provocados pelas chuvas. A intensidade e a frequência com que a precipitação vem ocorrendo na cidade acaba por gerar inúmeros incômodos para a população, seja por queda de árvores, inundações de ruas, transbordamentos de lagos e córregos urbanos, entre outros tipos de infortúnios.

Desde 2011, com frequência anual, o entorno do Lago Igapó, tem sido acometido por alagamentos. As chuvas do ano de 2016 causaram diversos prejuízos para o Estado do Paraná, levando o governo a declarar situação de emergência em

25 municípios e a União para oito, ambos incluem Londrina (G1 PR, 2016). Neste ano, na cidade de Londrina, em apenas 4 horas foram registrados 174,4 mm.

A Tabela 2 apresenta algumas das datas em que ocorreram transbordamentos no Lago Igapó. São mostrados os valores e a duração das precipitações que resultaram em tais episódios, como também a chuva no intervalo de 24 horas desses eventos. Os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

**Tabela 2** – Datas em que ocorreram os alagamentos no Lago Igapó.

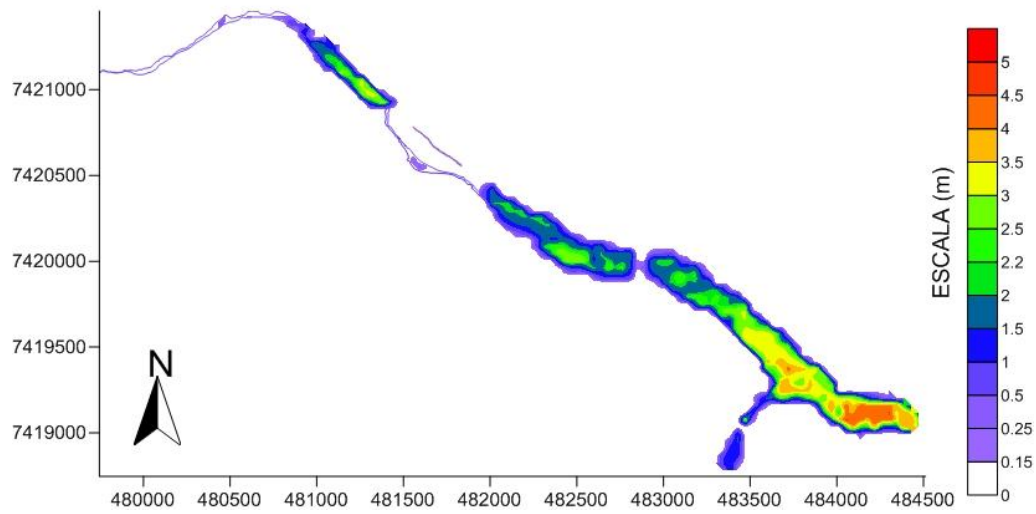
DATA		PRECIPITAÇÃO	DURAÇÃO	PRECIPITAÇÃO EM UM DIA	PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 5 DIAS
		(mm)	(horas)	(mm)	(mm)
2011	15 de Outubro	78,2	5,5	93,0	170,4
2012	19 de Junho	185,0	17,0	192,8	268,0
2013	24 de Outubro	86,8	1,5	86,8	102,6
2014	22 de Dezembro	79,2	7,0	83,6	139,7
2015	30 de Novembro	59,8	5,5	61,0	106,8
2016	11 de Janeiro	174,4	4,0	275,2	364,4

**Fonte:** SIMEPAR, 2016.

As causas do transbordamento do complexo do Lago Igapó são multifatoriais, pode-se dizer que o assoreamento é o principal componente, no entanto a impermeabilização do solo desta bacia, a topografia (declividade) das vertentes, a ausência e má preservação de mata ciliar nos fundos de vale, a escassez, obstrução e entupimento de bueiros (ou bocas de lobo), a limpeza urbana e a educação ambiental também contribuem para que episódios de alagamentos e transbordamentos aconteçam.

Por solicitação do Instituto das Águas do Paraná (ÁguasParaná), autarquia vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Paraná foi realizada a batimetria do pool do Lago Igapó pela empresa Brasil Sul Mapas. Tal estudo foi concedido pelo ÁguasParaná, na qual as coletas de dados em campo ocorreram nos dias 28 e 29 de maio de 2013. A Figura 12 apresenta o referido mapa batimétrico.

**Figura 12** - Batimetria do Lago Igapó.



**Fonte:** BRASIL SUL MAPAS, 2013.

O mapa batimétrico nos fornece as informações necessárias sobre as profundidades do complexo do Lago Igapó. Pode-se observar na figura anterior que grande parte dos quatro lagos tem profundidade inferior a 3,0m, exceto na proximidade da barragem no Lago I. Os Lagos II e III, que são os que mais frequentemente transbordam, apresentam profundidade média inferior a 2,5m, o que reforça a alegação acima citada de que o Lago Igapó está assoreado.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada a delimitação hidrográfica da bacia e o levantamento de dados das características morfológicas, tais como: área de drenagem, perímetro, extensão do curso principal, declividade da bacia e cotas altimétricas.

Na segunda etapa foi realizada uma estimativa multitemporal do uso e cobertura do solo para os 40 anos analisados (1975 a 2015) através de imagens de satélite, com a quantificação percentual das áreas para cada tema estabelecido (água, urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto). A etapa seguinte consistiu na definição do coeficiente Curva Número (CN), do modelo do SCS, para as diferentes condições de uso e cobertura do solo, onde foram obtidos com base em tabela gerada através de média ponderada.

Na quarta etapa foram realizados os cálculos comparativos de intensidade de precipitação entre a equação de chuvas intensas propostas por Fendrich (2011) para o município de Londrina/PR com a distribuição estatística de Gumbel para chuvas máximas diárias anuais e a desagregação de chuvas diárias em chuvas de 24 horas e de durações menores para o período entre 1976 e 2015. A quinta fase deste trabalho foi a determinação dos tempos de retorno das chuvas que causaram os transtornos no entorno do Lago Igapó, sendo que para tal foi utilizada a equação obtida na distribuição de Gumbel para chuvas máximas diárias anuais.

Finalmente, na última etapa foram gerados hietogramas e hidrogramas dos cenários simulados, para os anos de 1975, 2015 e 2035, referentes, respectivamente a situações anterior à urbanização, atual e posterior à urbanização, já próximo à saturação. Para tanto foram utilizados o método dos blocos alternados para a elaboração dos hietogramas e, para a geração do hidrograma, o método do hidrograma unitário curvilíneo do SCS e a convolução. Os cenários foram simulados para tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, com tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração.

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Os valores dos parâmetros analisados para a caracterização geomorfológica da bacia foram obtidos com base na delimitação da bacia hidrográfica e do mapa temático da hidrografia do município de Londrina (PR). O limite da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé foi realizado com auxílio das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Departamento de Engenharia e Comunicações do Ministério do Exército (DSG). A carta que serviu para fazer o recorte do limite da bacia para análise encontra-se na folha SF.22-Y-DIII-4 MI-2758/4 (ITCG, 2016). Para a aquisição dos dados da bacia foi utilizado o programa AutoCAD do Autodesk.

A Tabela 3 apresenta alguns dos parâmetros utilizados para caracterizar morfologicamente uma bacia hidrográfica, bem como as fórmulas para sua obtenção. Segundo Christofolletti (1981) e Villela e Mattos (1975), as definições para alguns dos parâmetros analisados são:

- Área: toda a área drenada pelo sistema de água pluvial entre os divisores topográficos;
- Perímetro: comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas;
- Fator de forma ( $K_f$ ): relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correlacionando a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). Uma bacia com um  $K_f$  baixo está menos sujeita a enchentes, por ser mais alongada e estreita;
- Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ): reflete a forma da bacia, é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia. Quanto mais irregular a bacia, maior será o  $K_c$  e menor será a probabilidade de enchentes;
- Índice de circularidade ( $IC$ ): refere-se à relação entre a área da bacia e a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia. O  $IC$  tende para a unidade à medida que a bacia aproxima-se da forma circular;
- Densidade de drenagem ( $D_d$ ): indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia, isto é, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia;

- Declividade: está relacionada com a velocidade em que ocorre o escoamento superficial;
- Altitude: a variação da altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, conseqüentemente sobre o deflúvio médio.
- Ordem dos cursos d'água: segundo a classificação apresentada por Strahler, os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente (SILVEIRA, 2009). A junção de um canal de dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste.

**Tabela 3** - Alguns parâmetros para análise morfológica da bacia hidrográfica.

PARÂMETRO	TERMOS DA EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	PROPENSÃO A GRANDES ENCHENTES
Fator de Forma ou Índice de Conformidade	$K_f$ : fator de forma; $A$ : área de drenagem (m <sup>2</sup> ); $L$ : comprimento do curso principal da bacia (m).	$K_f = \frac{A}{L^2}$ (6)	0,75 < $K_f$ < 1,00: Alta 0,50 < $K_f$ < 0,75: Média $K_f$ < 0,50: Baixa
Coefficiente de Compacidade	$K_c$ : coeficiente de compacidade; $P$ : perímetro (m); $A$ : área de drenagem (m <sup>2</sup> ).	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$ (7)	1,00 < $K_c$ < 1,25: Alta 1,25 < $K_c$ < 1,50: Média $K_c$ > 1,50: Baixa
Índice de Circularidade	$IC$ : índice de circularidade; $P$ : perímetro (m); $A$ : área de drenagem (m <sup>2</sup> ).	$IC = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$ (8)	$IC$ > 0,51: Alta (bacia circular) $IC$ < 0,51: Baixa (bacia alongada)
Densidade de Drenagem	$D_d$ : densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> ); $L_t$ : comprimento total dos cursos da bacia (km); $A$ : área de drenagem (km <sup>2</sup> ).	$D_d = \frac{L_t}{A}$ (9)	$D_d$ < 0,5 km/km <sup>2</sup> : Drenagem pobre 0,5 < $D_d$ < 3,5 km/km <sup>2</sup> : Bem drenada $D_d$ > 3,5 km/km <sup>2</sup> : Muito bem drenada

Fonte: VILLELA; MATTOS, 1975 e ALVES; CASTRO, 2003.

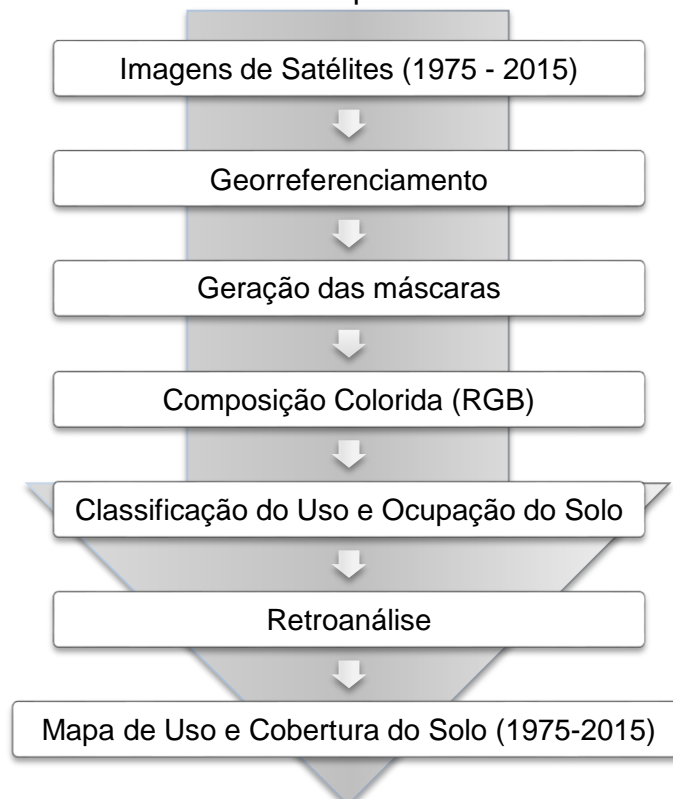
## 5.2 ESTIMATIVA DO USO E COBERTURA DO SOLO

No estudo foi empregada uma sucessão temporal de imagens dos satélites LANDSAT relativos aos últimos quarenta anos, de 1975 a 2015, com intervalos de 10 em 10 anos, com o intuito de estimar a área ocupada por distintos uso do solo. Para a classificação do uso e cobertura do solo foi utilizado o programa SPRING 5.3. A Figura 13 ilustra o desenvolvimento desta etapa.

Os dados vetoriais e matriciais importados para o SPRING foram o de limite da bacia hidrográfica e da planta contendo os lotes da cidade de Londrina/PR, que era georreferenciada em CAD, tal que essa foi utilizada para georreferenciar a imagem de satélite.

As imagens dos sensores multiespectrais LANDSAT foram obtidas gratuitamente no site de Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE, 2016). Procurou-se utilizar imagens dos mesmos períodos do ano, mas o cuidado principal foi com a presença de nuvens, a fim de evitá-las. A Tabela 4 apresenta os satélites utilizados, as datas de passagem e as bandas multiespectrais utilizadas.

**Figura 13** - Fluxograma do estudo multitemporal do uso e cobertura do solo.



**Fonte:** A autora.

**Tabela 4** - Imagens de satélite utilizadas.

DATA		SATÉLITE (SENSOR)	ÓRBITA/PONTO	BANDAS
1975	28 de Agosto	LANDSAT-1 (MSS)	238/076	B4, B5, B6
1985	04 de Maio	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
1995	04 de Maio	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
2005	09 de Abril	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
2015	17 de Dezembro	LANDSAT-8 (OLI)	222/076	B4, B5, B6

**Fonte:** A autora.

A etapa de aquisição das imagens foi procedida, no software SPRING, pelo georreferenciamento das imagens de satélites através da utilização da planta do município de Londrina/PR. Em seguida realizou-se a geração das máscaras referentes ao delineamento da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé, que foi executada a partir da importação do arquivo vetorial do polígono da bacia para o software.

Seguiu-se pelo processamento digital das imagens (PDI), o qual foram elaboradas as composições falsa-cor (RGB). Esse tratamento consiste em selecionar três bandas espectrais e atribuir a cada uma delas uma das cores primárias (R=Vermelho, G=Verde e B=Azul), bem como efetuar o ajuste do histograma para realçar o contraste visual.

Desta forma, para o sensor MSS do LANDSAT-1, foi definida a composição B6-Vermelho, B5-Verde e B4-Azul, para os sensores TM do LANDSAT-5 definiu-se B5-Vermelho, B4-Verde e B3-Azul. Já para o sensor TM do LANDSAT-8, a composição realizada foi: B6-Vermelho, B5-Verde e B4-Azul.

Para apurar a interpretação dos dados obtidos no SPRING foram realizadas visitas em campo, sendo observados os usos e as ocupações do solos nas proximidades da nascente e do exutório (a barragem do Lago Igapó I). No caso das datas anteriores (1975, 1985, 1995 e 2005), estas foram analisadas a partir das imagens dos levantamentos aerofotogramétricos que estão disponíveis no site da Prefeitura de Londrina e na ferramenta do Google Earth de Imagens Históricas (2005).

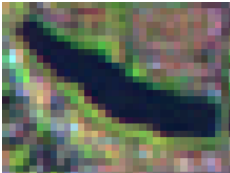

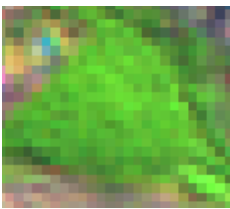
No SPRING, foi realizada a classificação supervisionada das imagens empregando o algoritmo classificador de Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%. Foram executadas as segmentações das imagens analisadas, pelo processo de crescimento de regiões, o qual cada imagem tinha

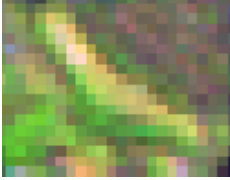

valores diferentes de Similaridade e Área de pixel, a fim de conferir maior veracidade na etapa de classificação. Durante a etapa de treinamento foram selecionadas e agrupadas as regiões de mesmas classes de uso e ocupação do solo na imagem.

Assim, foram elaborados os mapas temáticos da evolução multitemporal do uso e ocupação do solo para os anos analisados, 1975, 1985, 1995, 2005 e 2015, para os quais todos os procedimentos escritos anteriormente foram efetuados.

Para uniformizar as classes temáticas para os 40 anos analisados, foi criada uma legenda única, com caráter genérico, desta forma facilitaria a integração das informações, tal qual para quantificar e qualificar as mudanças ocorridas na área. A interpretação das imagens foi realizada através da análise da textura (impressão de rugosidade), da cor, da forma, do tamanho, da localização e do contexto (Tabela 5). Foram criados cinco temas ou classes para a classificação das imagens, dos quais quatro são de uso e cobertura do solo (urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto) e da água.

**Tabela 5** - Unidades de mapeamento.

UNIDADE DE MAPEAMENTO	PADRÕES CARACTERÍSTICOS DE INTERPRETAÇÃO NO TERRENO	PADRÕES CARACTERÍSTICOS DE INTERPRETAÇÃO NA IMAGEM	EXEMPLO NUMA COMPOSIÇÃO COLORIDA
ÁGUA	Lagos e córregos.	Padrão de cor: azul escuro Textura: lisa Forma: irregular	
URBANIZADA	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais. Estão inseridas regiões com alta taxa de impermeabilização.	Padrão de cor: marrom/preto Textura: rugosa Forma: irregular	
VEGETAÇÃO DENSA	Área de vegetação de fundo de vale e bosque, ou seja, zonas de vegetação densa, cuja característica é uma cobertura muito permeável	Padrão de cor: verde Textura: rugosa Forma: irregular	

UNIDADE DE MAPEAMENTO	PADRÕES CARACTERÍSTICOS DE INTERPRETAÇÃO NO TERRENO	PADRÕES CARACTERÍSTICOS DE INTERPRETAÇÃO NA IMAGEM	EXEMPLO NUMA COMPOSIÇÃO COLORIDA
VEGETAÇÃO RASTEIRA	Área cujo uso é de zonas cultivadas, pastagens e campos de vegetação rasteira, com permeabilidade do solo inferior a de vegetação	Padrão de cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: levemente irregular	
SOLO EXPOSTO	Área desprovida de revestimento vegetal.	Padrão de cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular/irregular	

**Fonte:** A autora.

Pelo exposto nos parágrafos anteriores, concretizou-se a classificação multitemporal do uso e cobertura do solo, pelo uso de imagens atuais e antigas. Com isso foi possível a análise da evolução do uso e cobertura do solo, através da comparação das imagens e quantificação dos temas.

### 5.3 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN

Para que fosse possível a obtenção do coeficiente CN (curva número) para a utilização no Método do SCS, foi necessário a utilização de tabelas próprias do método. Essas iniciam a classificação do solo a partir de suas características e capacidade de infiltração e do uso e cobertura, além da condição média de umidade antecedente.

Conforme elucida Tomaz (2011), a classificação dos quatro tipos de solo, apresentados na Tabela 6, é de fácil entendimento, uma vez que descrevem as características do solo apresentado pelo método do SCS. O parâmetro CN também depende de outro fator, que é a capacidade mínima de infiltração no solo, mostrada na Tabela 7, importante na classificação dos quatro grupos.

**Tabela 6** - Grupo de solos e características do solo.

GRUPO DE SOLO	CARACTERÍSTICAS DO SOLO
A	<p>Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).</p>
B	<p>Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir para 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não podendo haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas apresenta camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).</p>
C	<p>Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).</p>
D	<p>Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argila expansiva e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).</p>

Fonte: Porto; Setzer, 1979, Porto, 1995 e Tucci et al, 1993 apud Tomaz, 2011.

**Tabela 7** - Capacidade mínima de infiltração conforme o grupo do solo.

GRUPO DO SOLO	CAPACIDADE MÍNIMA DE INFILTRAÇÃO (mm/h)	MÉDIA
A	7,62 a 11,43	9,53
B	3,81 a 7,62	5,72
C	1,27 a 3,81	2,54
D	0 a 1,27	0,64

Fonte: McCuen, 1989

Para o caso da cobertura do solo, existem tabelas do número de CN para bacias rurais e para bacias urbanas. Na Tabela 8 são apresentados os valores para bacias urbanas e suburbanas na condição II de umidade antecedente.

**Tabela 8** - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO		GRUPO DE SOLOS			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagem ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosque ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Florestas: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m <sup>2</sup> )	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	82
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamento e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

**Fonte:** Tucci, 2009.

As condições médias de umidade antecedentes do solo são de grande importância, uma vez que o solo poderá se encontrar em condições normais (II) ou muito seco (I) ou muito úmido (III), portanto são feitas correções aos valores tabelados para as diferentes situações em relação à média. As tabelas, para a obtenção do número CN, referem-se às condições normais, existem tabelas que fornecem ajuste para as demais condições de umidade (I e III) que se deseja representar (TUCCI, 2009).

A aplicabilidade do método do SCS para bacias com diferentes tipos de ocupações faz com que este método seja o mais utilizado para a obtenção do escoamento superficial, apresentando resultados confiáveis. Assim, no caso de bacia com diferentes tipos de uso e ocupação (bacia mista), deve-se fazer uso de média ponderada para a obtenção do CN médio, adotando como fator de ponderação as áreas correspondentes a cada valor de CN (TUCCI, 2009). A expressão usada para uma bacia mista é mostrado na Equação 10.

$$CN_m = p \cdot CN_p + i \cdot CN_i \quad \text{Equação 10}$$

Onde:  $CN_m$  é a curva número para ocupação mista;  $p$  é a fração permeável da bacia;  $CN_p$  é o número da curva da parcela permeável;  $i$  é a fração impermeável da bacia ( $i = 1 - p$ ); e  $CN_i$  é igual a 95 (valor admitido).

Com base nos elementos apresentados anteriormente, foram criados valores de CN para as unidade de mapeamento estabelecidas na classificação realizada no SPRING, ou seja, para os temas urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto.

O grupo de solo, a partir da classificação feita pelo SCS, que melhor se adequa à região de Londrina, de acordo com as características geológicas é o grupo C. Isso se deve ao fato do solo local ser bastante poroso e com fortes características de solo laterítico, ou seja, ter alta porcentagem de argila e com profundidade variável da camada (CAVALCANTE et al., 2007). A condição média de umidade antecedente do solo considerada foi a condição II, em que a umidade da capacidade de campo do solo corresponde à situação média.

Com os temas estabelecidos na classificação do uso e cobertura do solo, os valores de CN foram determinados através da média ponderada baseada na Tabela 8, do grupo de solo e da umidade antecedente (Tabela 9).

**Tabela 9** - Ponderação de CN por tipo de utilização e cobertura do solo.

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	PONDERAÇÃO	CN MÉDIO
Urbanizada	20% Zonas comerciais e de escritórios; 60% Lotes residenciais com área impermeável de 65%; 10% Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais; 10% Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.;	92
Vegetação Densa	25% Bosque ou zonas com cobertura ruim; 75% Florestas: cobertura boa;	72
Vegetação Rasteira	20% Zonas cultivadas: sem conservação do solo; 30% Zonas cultivadas com conservação do solo; 30% Pastagem ou terrenos em más condições; 20% Prado em boas condições;	81
Solo Exposto	100% Baldio em boas condições;	74

**Fonte:** A autora.

## 5.4 CHUVAS INTENSAS

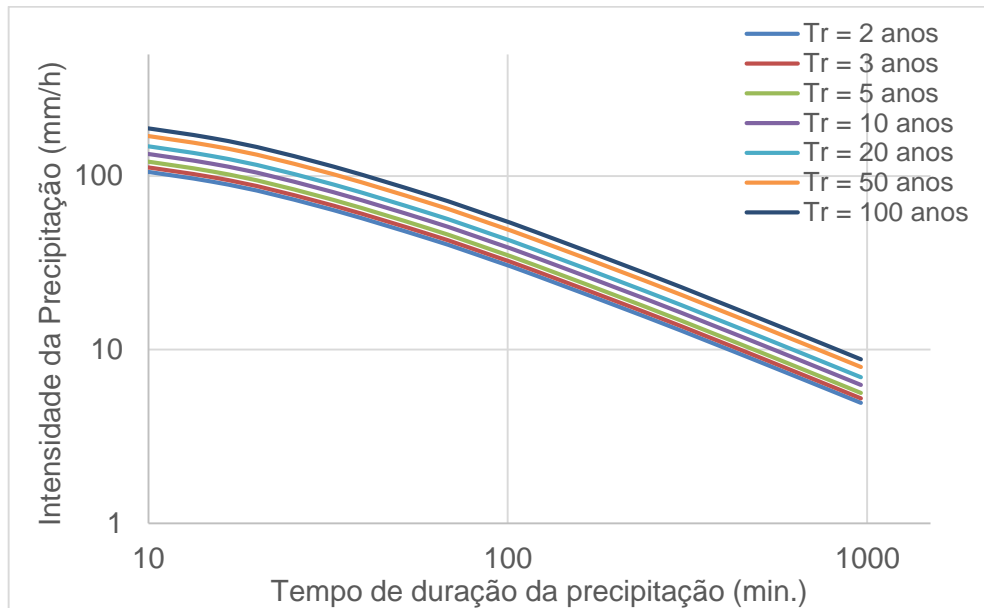
### 5.4.1 Equação de IDF de Fendrich (2011)

No ano de 2010 foi publicada por Roberto Fendrich uma equação de estimativa de chuvas intensas para o município de Londrina (Equação 11), baseada em dados históricos, com período de observação de onze anos (1975 a 1985).

$$i = \frac{1636,44 \cdot T_r^{0,148}}{(t_d + 17)^{0,858}} \quad \text{Equação 11}$$

Tal que  $i$  é a intensidade da chuva máxima, em mm/h;  $T_r$  é o tempo de retorno, em anos; e  $t_d$  é o tempo de duração da chuva, em minutos. No Gráfico 1 são apresentadas as curvas de intensidade, duração e frequência elaboradas por Roberto Fendrich para o município de Londrina/PR.

**Gráfico 1** - Curvas de IDF para o município de Londrina/PR.



**Fonte:** Fendrich, 2011.

Fazendo uso das planilhas eletrônicas do Excel – Microsoft Office e da equação de IDF de Fendrich (2011) para Londrina, obteve-se as intensidades de precipitação (mm/h). Para tanto, foram preestabelecidos os valores de tempo de duração ( $t_d$ ) e tempos de retorno ( $T_r$ ) das chuvas, são eles:

- $t_d$ : 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora e 6 horas;
- $T_r$ : 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

#### 5.4.2 Distribuição de Gumbel e Desagregação de Chuvas Diárias

Os dados de chuva máxima diária foram obtidos junto ao Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná. A estação escolhida foi a do IAPAR (Latitude 23° 18' 00" Sul, Longitude 51° 09' 00" Oeste e Altitude 585,000m), na cidade de Londrina/PR. Foram analisadas as séries históricas de chuva máximas de “um dia” dos registros de pluviômetro, os quais foram selecionados 40 anos de observações consecutivas (1976 – 2015). O processamento dos dados foi feito no Excel – Microsoft Office.

Para a análise estatística da probabilidade e do tempo de retorno das chuvas intensas pela distribuição de Gumbel, obteve-se, em cada ano da série histórica a altura máxima de precipitação de “um dia”, constituindo assim, a série de chuvas máximas anuais (Tabela 10).

**Tabela 10** - Precipitações máximas diárias anuais (mm) em Londrina/PR.

ANO	MÁXIMA DIÁRIA	ANO	MÁXIMA DIÁRIA	ANO	MÁXIMA DIÁRIA	ANO	MÁXIMA DIÁRIA
1976	75,0	1986	62,5	1996	96,1	2006	59,0
1977	116,3	1987	83,2	1997	161,0	2007	104,8
1978	81,4	1988	83,0	1998	106,0	2008	59,8
1979	62,0	1989	117,1	1999	74,8	2009	96,0
1980	80,0	1990	77,8	2000	68,9	2010	108,2
1981	65,9	1991	119,1	2001	76,4	2011	98,8
1982	102,0	1992	142,7	2002	77,0	2012	200,5
1983	74,8	1993	113,5	2003	73,8	2013	80,8
1984	151,2	1994	106,4	2004	68,8	2014	85,2
1985	98,2	1995	68,8	2005	84,2	2015	98,0

Fonte: ÁguasParaná, 2016.

Os valores dessas séries foram organizados em ordem decrescente de altura de precipitação, sendo calculados a média aritmética e o desvio padrão da amostra. As frequências observadas foram calculadas segundo a equação de Kimbal (VILLELA; MATTOS, 1975), sendo ela expressa na Equação 12, onde  $F_i$  é a frequência observada,  $m_i$  é o número de ordem da chuva máxima anual, e  $n$  é o número de anos da série analisada.

$$F_i = \frac{m_i}{n+1} \quad \text{Equação 12}$$

A variável reduzida de Gumbel ( $y$ ) foi estimada pela Equação 13. Em que:  $s_x$  é o desvio-padrão,  $x_i$  é a altura da precipitação máxima em análise,  $\bar{x}$  é a média da amostra da série anual finita de  $n$  valores,  $s_y$  é desvio-padrão reduzido e  $\bar{y}$  é a média da variável reduzida  $y$  (tabela em função da amostra – Tabela 11 e Tabela 12).

$$y = \frac{s_y}{s_x} \cdot \left[ x_i - \left( \bar{x} - s_x \cdot \frac{\bar{y}}{s_y} \right) \right] \quad \text{Equação 13}$$

**Tabela 11** - Valores da média reduzida ( $\bar{y}$ ) para o método de Gumbel em função da amostra N.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Fonte: Subramanya (2008 apud TOMAZ, 2011).

**Tabela 12** - Valores do desvio-padrão reduzido ( $s_y$ ) para o método de Gumbel em função da amostra N.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Fonte: Subramanya (2008 apud TOMAZ, 2011).

A probabilidade teórica esperada de um valor extremo dado ( $x_i$ ) ser atingido ou superado, ou seja, de acontecer um valor ( $x$ ) igual ou superior a  $x_i$ , foi obtida por meio da Equação 14, onde  $x$  é a variável aleatória (chuva máxima); e é a base do logaritmo neperiano, e  $y$  é a variável reduzida de Gumbel.

$$P_{(x \geq x_i)} = 1 - e^{-e^{-y}} \quad \text{Equação 14}$$

O período de retorno, definido como o inverso da probabilidade, isto é, o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou

superado, pelo menos uma vez é expresso pela Equação 15. Em que  $T_r$  é o período de retorno e  $P_{(x \geq x_i)}$  é a probabilidade teórica de Gumbel.

$$T_r = \frac{1}{P_{(x \geq x_i)}} \quad \text{Equação 15}$$

Foi gerado um gráfico com os pontos correspondentes às alturas de chuvas ( $x_i$ ) na ordenada, em escala aritmética, e, em correspondência na abscissa, em escala logarítmica, o tempo de retorno em anos. Foi obtida a partir desses dados, a reta analítica de frequência das chuvas, a qual permitiu a determinação das alturas máximas de chuvas esperadas.

Com a equação da reta que relaciona o tempo de retorno da chuva com a precipitação máxima de “um dia” de duração, obtida através da distribuição de Gumbel, foi aplicado o modelo de desagregação de chuvas. Este modelo é utilizado quando pretende-se obter alturas máximas de chuvas para diferentes durações. Desta forma, foi aplicado o Método das Relações (MR) descrito em CETESB (1986) que apresenta as relações de desagregação de alturas pluviométricas para diferentes durações, como consta na Tabela 13.

**Tabela 13** - Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias.

RELAÇÃO	CONSTANTE	RELAÇÃO	CONSTANTE
24 h/1 d	1,14	30 min/1 h	0,74
12 h/24 h	0,85	25 min/30 min	0,91
10 h/24 h	0,82	20 min/30 min	0,81
8 h/24 h	0,78	15 min/30 min	0,70
6 h/24 h	0,72	10 min/30 min	0,54
1 h/24 h	0,42	5 min/30 min	0,34

**Fonte:** CETESB, 1986.

Obtidas as alturas das chuvas, estimaram-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva consideradas e para o período de retorno desejado, apresentada na Equação 16, onde  $i_{mm}$  é a intensidade máxima média da chuva;  $\Delta h$  é a altura máxima de chuva no intervalo de tempo, e  $\Delta t$  o intervalo de tempo considerado.

$$i_{mm} = \frac{\Delta h_{(\Delta t)}}{\Delta t} \quad \text{Equação 16}$$

## 5.5 GERAÇÃO DE HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS

O método utilizado para a geração do hietograma foi o Método dos Blocos Alternados. O qual, após a definição do tempo de duração ( $t_d$ ) da chuva e do tempo de retorno ( $T_r$ ), são calculadas, com base nas relações IDF, as intensidades para a diversos intervalos regulares ( $\Delta t$  ou  $t$ ) até a duração total da chuva. Essas intensidades são transformadas em alturas de chuva, através da multiplicação destas pelo seu respectivo intervalo de tempo, e representam os valores acumulados até o último intervalo. Os incrementos entre um valor acumulado e outro são calculados e rearranjados, de forma que o maior valor se localize no centro da duração total da chuva, e os demais sejam dispostos em ordem decrescente, sempre um à direita e outro à esquerda do bloco central, alternadamente.

Depois da reordenação, os incrementos são acumulados novamente para o cálculo da chuva excedente ou chuva efetiva através do Método do SCS (Q), tal que para isso é necessário o conhecimento dos valores de CN médio da bacia hidrográfica. Finaliza-se com o cálculo do valor do incremento da chuva efetiva de cada intervalo.

Para a elaboração do hidrograma de escoamento foram utilizados os seguintes métodos: Método do Hidrograma Unitário Sintético Curvilíneo do SCS e a Convolução. No método do hidrograma unitário sintético curvilíneo (HUC) do SCS é preciso, inicialmente, determinar os valores de tempo de concentração (estimado método cinemático do SCS - Equação 17), tempo de pico e vazão de pico no método do HUT, sendo que a partir destes parâmetros é feito o cálculo do HUC.

$$t_c = \frac{1000}{60} \cdot \sum \frac{L}{v} \quad \text{Equação 17}$$

Onde,  $t_c$  é o tempo de concentração, em minutos;  $L$  é o comprimento do talvegue, em km; e  $v$  é a velocidade de escoamento, em m/s obtida através da Tabela 14.

**Tabela 14** - Velocidade média para o cálculo de  $t_c$  pelo método cinemático do SCS.

DESCRIÇÃO DO ESCOAMENTO	DECLIVIDADE EM %			
	0 a 3	4 a 7	8 a 11	> 12
Em superfície de				
- florestas	0 a 0,5	0,5 a 0,8	0,8 a 1,0	> 1,0
- pastos	0 a 0,8	0,8 a 1,1	1,1 a 1,3	> 1,3
- áreas cultivadas	0 a 0,9	0,9 a 1,4	1,4 a 1,7	> 1,7
- pavimentos	0 a 2,6	2,6 a 4,0	4,0 a 5,2	> 5,2
Em canais				
- mal definidos	0 a 0,6	0,6 a 1,2	1,2 a 2,1	-
- bem definidos	Usar a fórmula de Manning			

Fonte: Tucci, 1995.

O valor do escoamento  $Q$  é obtido através da Tabela 15, onde é obtido, primeiramente, o produto entre a duração dos incrementos da precipitação (duração da precipitação unitária) –  $t$ , e o tempo de pico ( $t_p$ ), após, é realizada a interpolação de valores da tabela para se obter a razão entre  $Q/q_p$ , para enfim, obter-se o valor de escoamento superficial -  $Q$ , por meio do produto entre a referida razão e a vazão de pico ( $q_p$ ).

**Tabela 15** – Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS.

$t/t_p$	$Q/q_p$	$t/t_p$	$Q/q_p$	$t/t_p$	$Q/q_p$
0,0	0,000	1,2	0,930	2,8	0,077
0,1	0,030	1,3	0,860	3,0	0,055
0,2	0,100	1,4	0,780	3,2	0,040
0,3	0,190	1,5	0,680	3,4	0,029
0,4	0,310	1,6	0,560	3,6	0,021
0,5	0,470	1,7	0,460	3,8	0,015
0,6	0,660	1,8	0,390	4,0	0,011
0,7	0,820	1,9	0,330	4,5	0,005
0,8	0,930	2,0	0,280	5,0	0,000
0,9	0,990	2,2	0,207		
1,0	1,000	2,4	0,147		
1,1	0,990	2,6	0,107		

Fonte: McCuen, 1989.

Segundo McCuen (1989), o uso da HUT é bastante útil como ferramenta didática, porém é preferível em projetos a utilização do HUC. O autor ainda explica que a HUT tende a subestimar o resultado da vazão de pico quando comparado com a HUC no processo de convolução quando feito uso do mesmo hietograma de chuva efetiva.

A convolução consiste na operação matemática de duas funções P e U, que dão origem a uma terceira função Q, que pode ser vista como uma das funções modificadas. Neste caso, a função P corresponde aos valores de chuva efetiva, a função U ao hidrograma unitário sintético curvilíneo do SCS e a função resultante Q é o escoamento superficial.

Para a elaboração dos hietogramas e hidrogramas foram utilizadas planilhas eletrônicas na plataforma do programa Microsoft Office Excel.

## 5.6 CONCEPÇÃO DE CENÁRIOS

Foram gerados hidrogramas resultantes de escoamento para três cenários distintos, sendo o primeiro para a situação encontrada no ano de 1975, ou seja, anterior a intensa urbanização e o segundo para o ano de 2015, situação atual da bacia hidrográfica. O terceiro cenário é hipotético, prevendo uma situação de expansão futura da bacia para o ano de 2035, quando se prevê que a bacia estará próxima do limite de saturação.

A geração dos hietogramas de projeto foram definidas através de dois parâmetros, tempo de concentração ( $t_c$ ) e tempo de retorno ( $T_r$ ). Foi adotado o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia e tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Ribeirão Cambé, no município de Londrina/PR, é de 2ª ordem pelo Método de Sthraler, indicando ser pouco ramificada, tem área de 29,95 km<sup>2</sup> e perímetro de 27,14 km. O comprimento do canal principal é de 11,25 km, com uma rede de drenagem total de 24,09 km. A densidade de drenagem ( $D_d$ ) é de 0,80 km/km<sup>2</sup> (Equação 9), indicando que a bacia possui uma boa capacidade de drenagem, este é um importante fator pois indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia.

O coeficiente de compacidade ( $k_c$ ) observado foi de 1,39 (obtido pela Equação 7), segundo Villela e Mattos (1975), um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e com tendências de maiores enchentes, logo para uma bacia alongada seu valor seria significativamente superior a 1, com menores riscos de enchentes. Assim, pode-se interpretar que esta bacia tem média probabilidade de enchentes, pelo valor estar entre 1,25 e 1,50 (Tabela 3).

Segundo a Equação 6, a bacia do Ribeirão Cambé tem fator de forma ( $k_f$ ) de 0,24, que é considerado baixo, indicando que a bacia tem formato estreito e longo, sendo menos sujeita a enchentes, pois há a menor possibilidade de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Da mesma forma, tem-se que o índice de circularidade ( $I_c$ ) da bacia é de 0,51, fornecido pela Equação 8, esse valor indica que o escoamento é moderado e há pequena probabilidade de cheias rápidas. Os demais parâmetros são apresentados na Tabela 16.

Tendo o relevo forte influência sobre os fatores hidrológicos, uma vez que a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, o tempo de concentração da bacia são determinados pela inclinação do terreno, tem-se que a declividade do curso principal é de 0,71% (altitude da nascente do curso principal é de 600m). Conforme a classificação do IBGE (2015b), essa bacia hidrográfica pode ser considerada de relevo plano, já que sua declividade é inferior a 3%. As características deste relevo é possuir a superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos (IBGE, 2015b).

**Tabela 16** - Parâmetros morfológicos da Bacia do Ribeirão Cambé.

PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	RESULTADOS	ANÁLISE
Área	km <sup>2</sup>	29,95	
Perímetro	km	27,14	
Comprimento do canal principal	km	11,25	
Comprimento total dos cursos	km	24,09	
Declividade do curso principal	%	0,71	
Altitude Máxima	m	630	
Altitude Mínima	m	520	
Ordem da Bacia	-	2ª Ordem	Método de Sthraler
Coeficiente de Compacidade	-	1,39	Média propensão a enchentes $1,25 < K_c < 1,50$
Fator de Forma	-	0,24	Baixa propensão a enchentes $K_f < 0,50$
Índice de Circularidade	-	0,51	Baixa propensão a enchentes $IC < 0,51$
Densidade de Drenagem	km/km <sup>2</sup>	0,80	Bem drenada $0,5 < D_d < 3,5$

**Fonte:** A autora.

A área de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé está compreendida entre as altitudes 630 e 520 m, como mostra a Figura 9 (na seção de Área de Estudo).

## 6.2 CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO

A utilização das imagens dos satélites LANDSAT (1, 5 e 8), aliadas às técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizadas, mostraram-se eficientes para atingir um dos objetivos propostos por esta pesquisa. Tais ferramentas possibilitaram o acompanhamento da dinâmica da modificação do uso e cobertura do solo ao longo do período analisado (1975, 1985, 1995, 2005 e 2015) na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé.

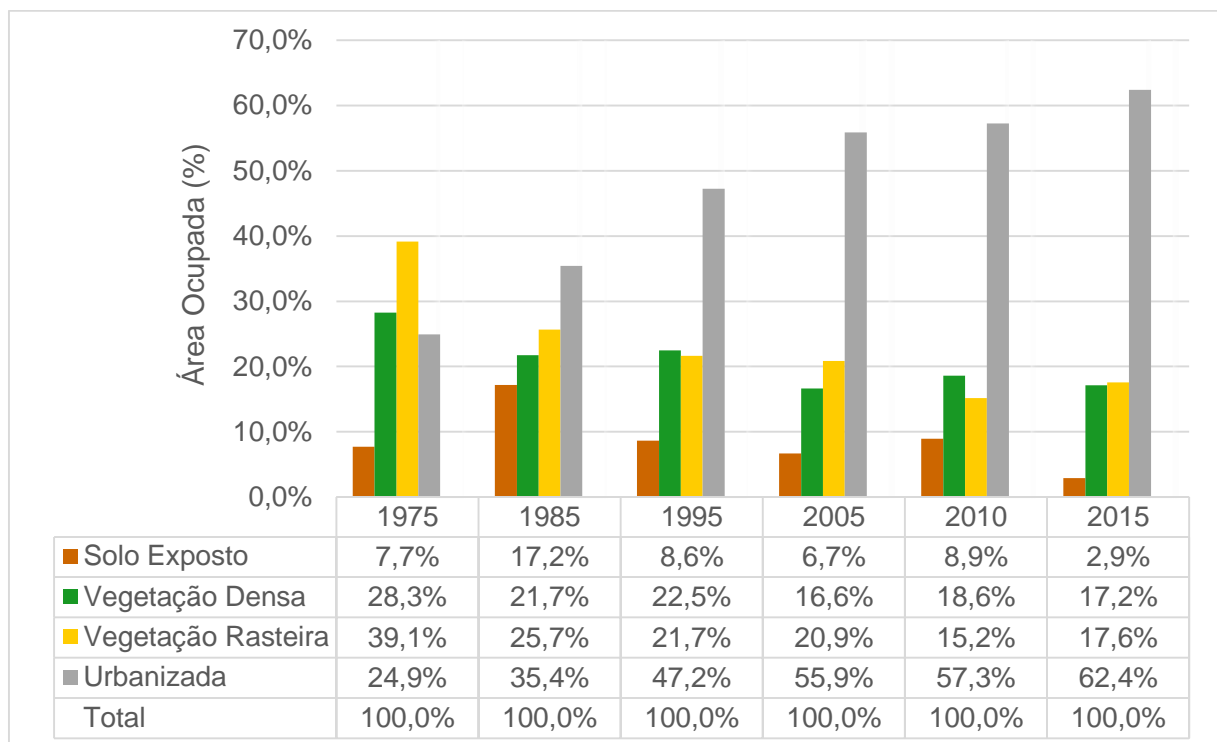
Sabendo que a resolução espacial dos sensores TM e OLI é de 30x30m e do MSS é de 80x80m, pode-se notar que se tratam de imagens de média e

baixa resolução e qualidade, respectivamente. Desta forma, a classificação do uso e cobertura do solo foi realizada com poucos temas, apenas quatro, dada a dificuldade em diferenciar áreas com características semelhantes. Foram escolhidos estes sensores e satélites devido a gratuidade na aquisição.

Os mapas temáticos foram gerados no software SPRING para os anos analisados, bem como o quantitativo de área de cada um dos temas estabelecidos: água, vegetação densa, vegetação rasteira, urbanizado e solo exposto. As Figura 14 a Figura 18 apresentam os mapas temáticos de uso e cobertura do solo.

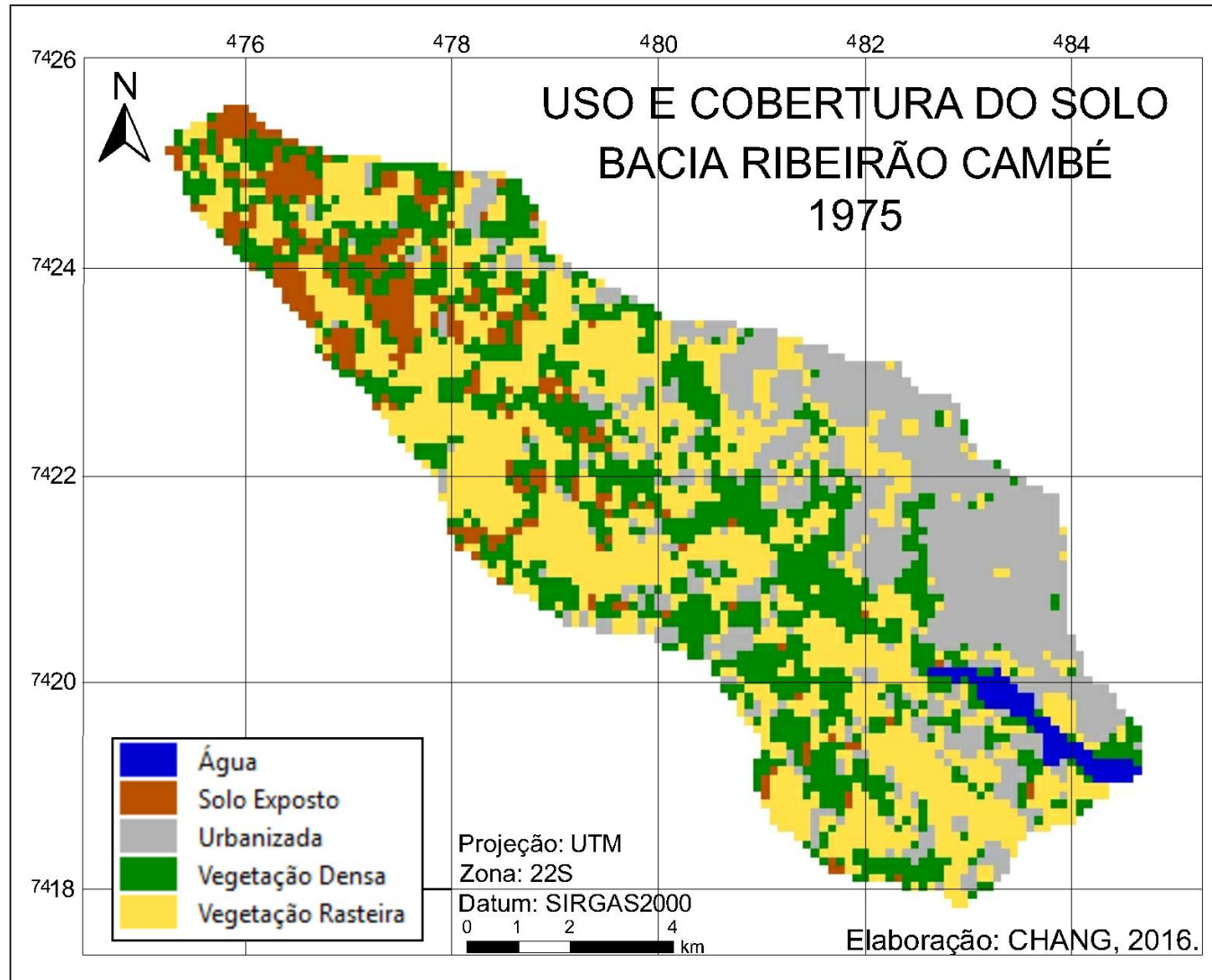
Através do Gráfico 2, que fornece a porcentagem das áreas ocupadas de cada tema de uso do solo, é possível notar que, ao longo dos anos, ocorreu um aumento gradativo da área urbana, contrapondo às áreas de vegetação densa e rasteira e de solo exposto. A área urbana teve um crescimento de 150% em 40 anos, já a de vegetação rasteira teve uma redução de 55%, assim como a de vegetação densa que foi de 40% no mesmo período.

**Gráfico 2 - Uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Cambé.**



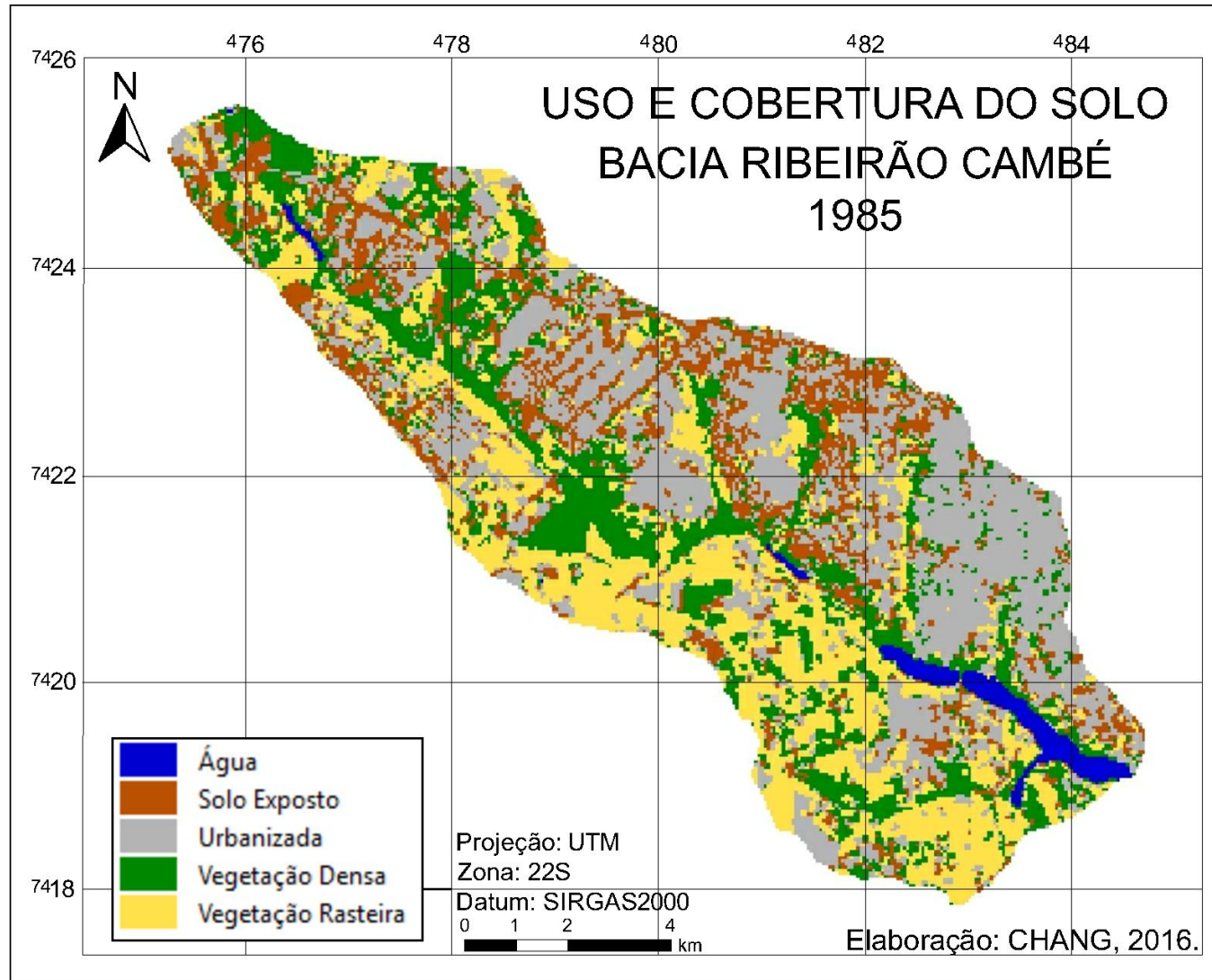
**Fonte:** A autora.

Figura 14 - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1975.



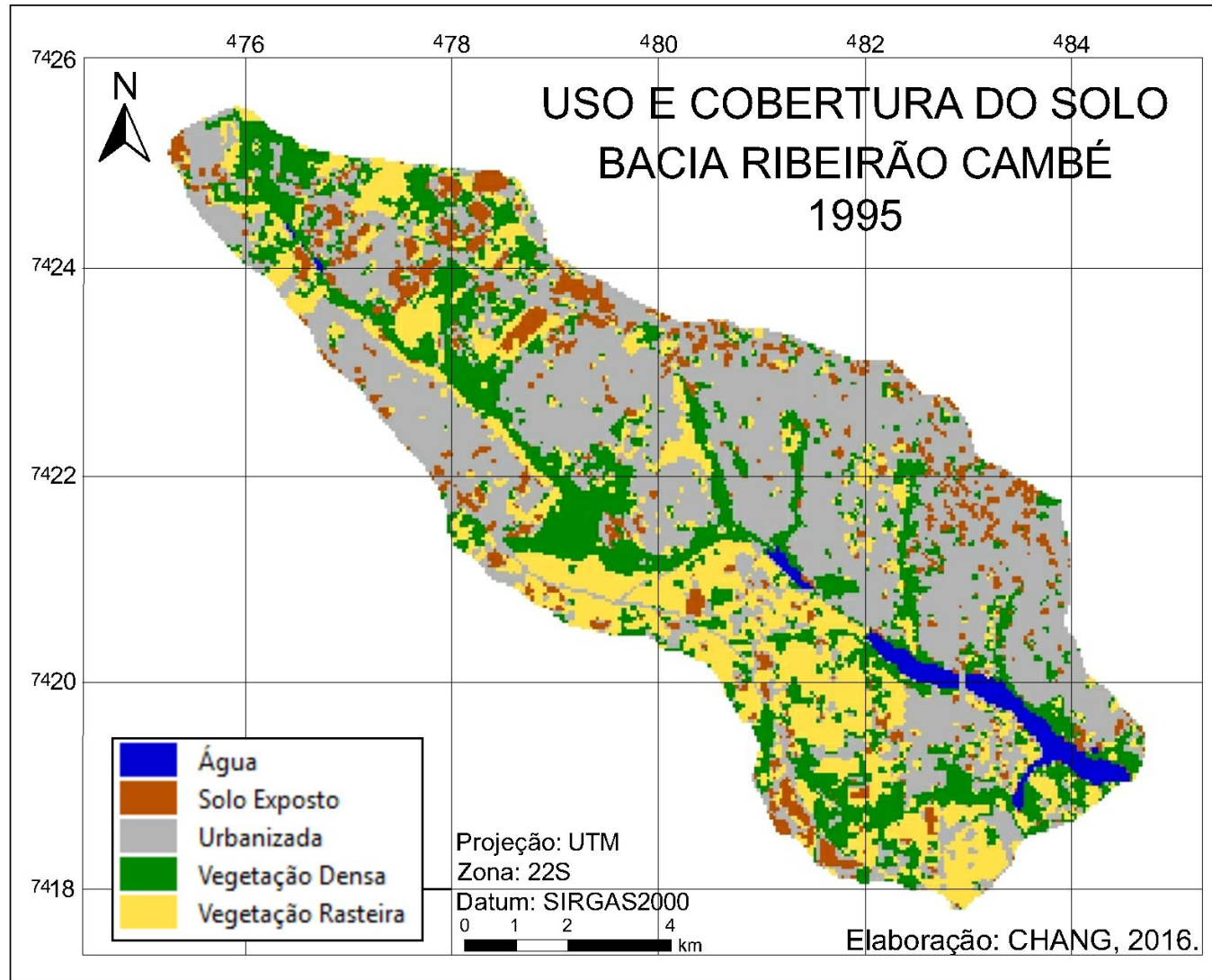
Fonte: A autora.

**Figura 15** - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1985.



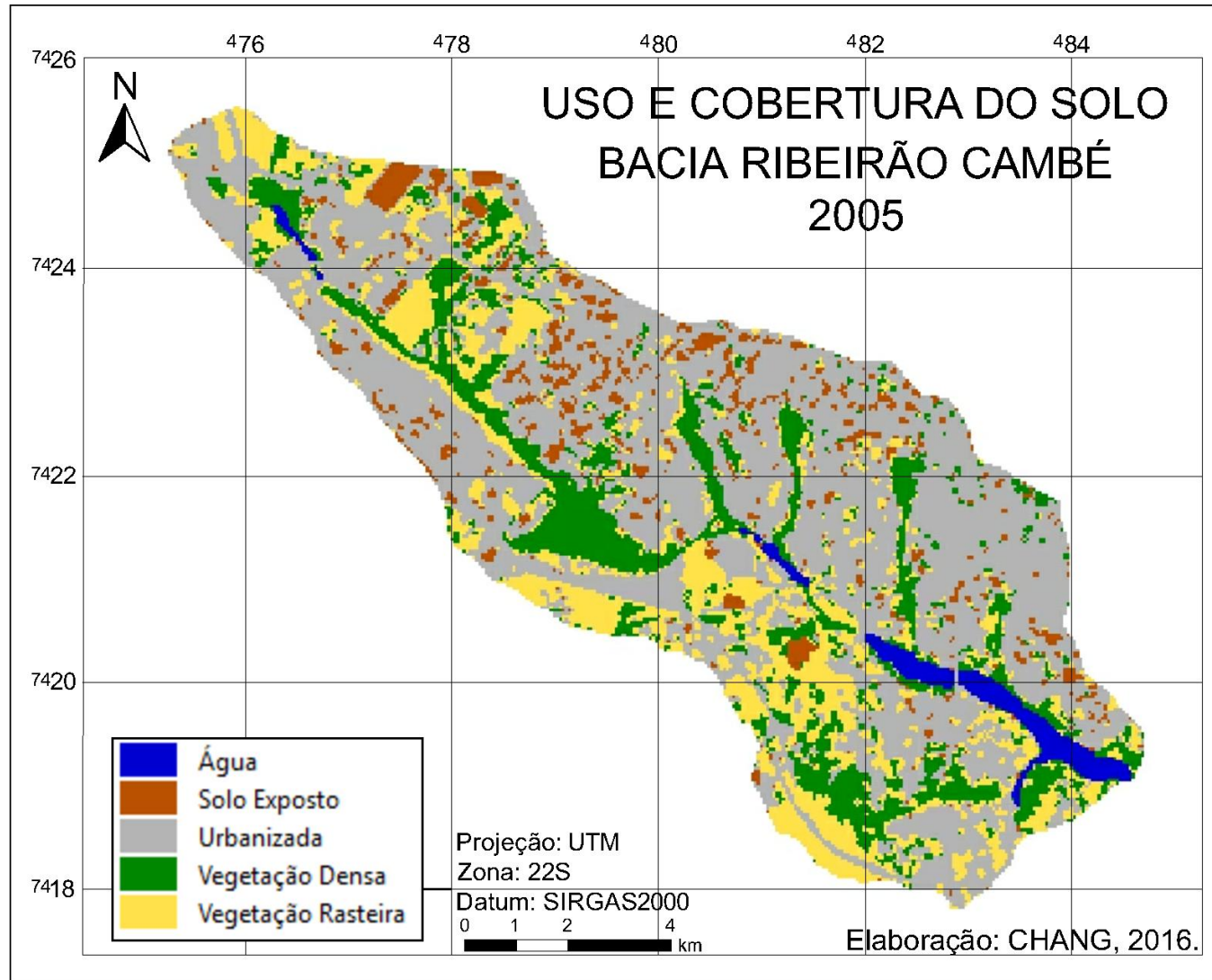
Fonte: A autora.

**Figura 16** - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 1995.



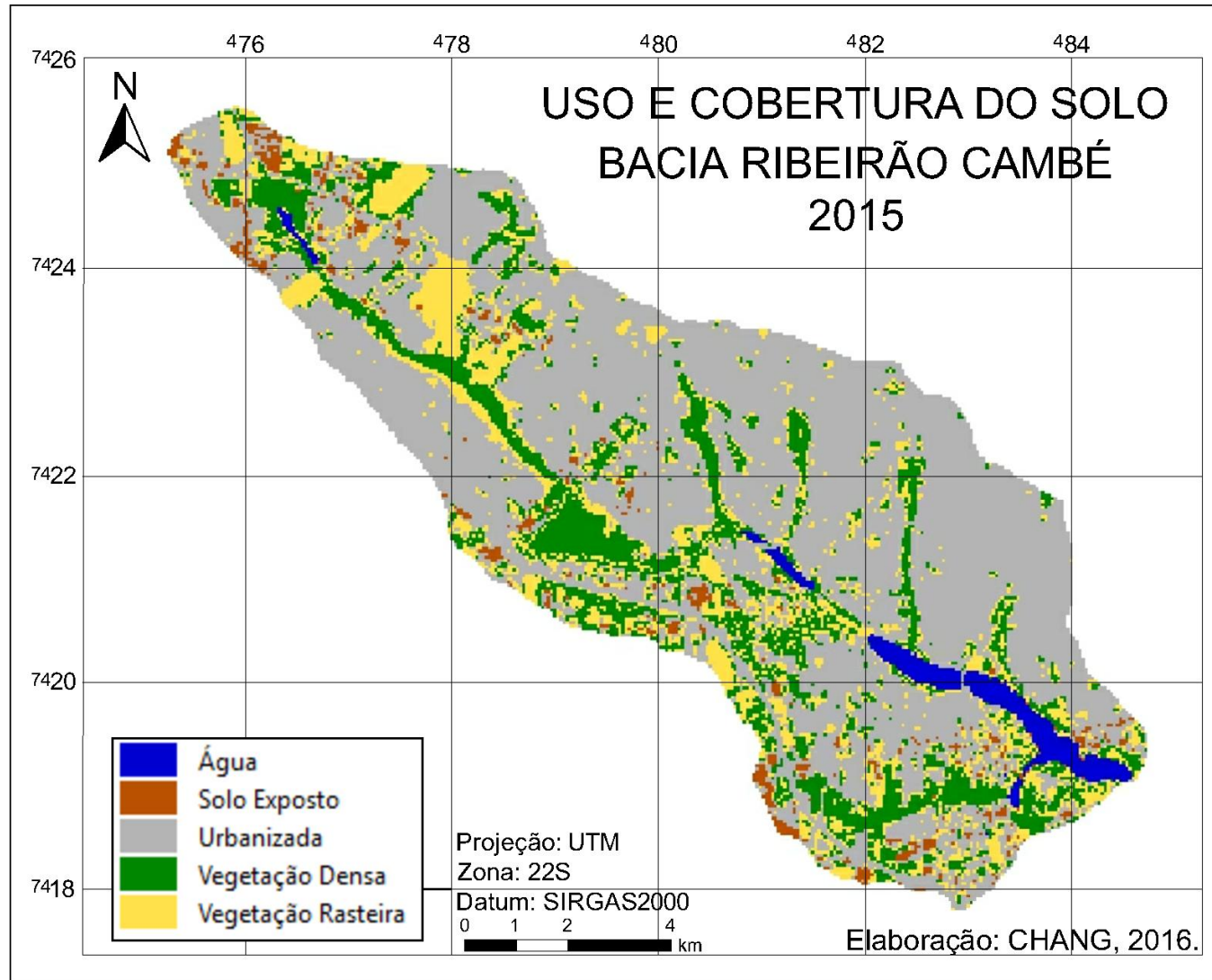
Fonte: A autora.

Figura 17 - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 2005.



Fonte: A autora.

**Figura 18** - Mapa temático de uso e cobertura do solo em 2015.



Fonte: A autora.

Os valores de solo exposto variaram constantemente ao longo dos anos em decorrência das mudanças dos usos do terreno. Um dos fatores pode ser a rotação de culturas, visto que a atividade rural tem grande importância para a economia da região. Outra causa dessa variação pode ser por conta da limpeza do terreno para a construção de edificações.

Conforme Archela et al. (2016), na década de 1960 a população londrinense apresentou seus mais elevados índices de urbanização, uma vez que a cidade passou a receber indústrias, se tornando polo regional, econômico, cultural e de serviços. Tal expansão ocorreu até o leste da bacia do Ribeirão Cambé (próximo aos Lagos I e II), uma vez que o crescimento da área urbana na cidade ocorreu de forma radial a partir do quadrilátero central.

Entre 1970 e 1980 a cidade acolheu mais 100 mil novos habitantes, desta forma, percebe-se o início da transformação da região leste da bacia. Simultaneamente, tem-se o crescimento próximo à nascente do Ribeirão, na cidade de Cambé, como mostra a Figura 14.

Na Figura 15, nota-se a modificação do uso e cobertura do solo no restante do lado leste da bacia, região sudeste. Já do lado oeste da bacia (noroeste), nos anos de 1980 iniciava-se a “periferização” desta área, que se estabilizou em meados dos anos 90. Hoje esta área é conhecida pelos bairros Sabará, Sabará II, Olímpico, Conjunto Habitacional João Turquino e Jardim Maracanã. A “periferização”, segundo Barros (1998 apud DE PAULA et al., 2013), é responsável pela formação de extensos “vazios urbanos” que contribuíram para o processo de conurbação. O crescimento da área urbanizada em relação a década anterior foi de 42%.

Nos anos de 1995 a 2005, conforme as figuras apresentadas, ocorreu a ocupação por algumas construções de forma isolada no restante da bacia, resultando em um crescimento de 33% da área urbanizada. A ocupação da região sudoeste se intensificou no início dos anos 2000 com a construção do Shopping Catuaí, cujo resultado foi a valorização do bairro Gleba Palhano. Como resultado houve um crescimento da área urbana na bacia entre 1995 a 2005 de 18%.

A ocupação da região noroeste da bacia, o bairro Gleba Palhano, ocorreu muito rapidamente entre os anos de 2010 e 2015, ano em que também ocorreu no cenário nacional o boom do mercado imobiliário, contribuindo ainda mais para esse crescimento. Em números, o crescimento da área construída nesse período, entre 1995 e 2015, foi de 11%.

De acordo com De Paula et al. (2013), o crescimento da população alterou as características da ocupação territorial da cidade, definindo expressiva segregação sócio-espacial. Um exemplo é o bairro da Gleba Palhano, que possui apenas edificações comerciais e residenciais de médio-alto e alto padrão. Isso se deve a crescente especulação imobiliária da época que impulsionou o surgimento deste tipo de ocupação.

Conforme os dados do SIDRA (2016a), a população urbana da cidade de Londrina/PR triplicou em 40 anos (Tabela 17). Tal fato corrobora os valores obtidos nas análises multitemporais do uso e cobertura do solo do Gráfico 2. Demonstrando que a ocupação da bacia ocorreu em conjunto com o crescimento populacional da cidade.

**Tabela 17** – População urbana residente em Londrina/PR.

	1970	1980	1991	2000	2010
POPULAÇÃO (hab.)	163.353	266.931	366.676	433.369	493.520

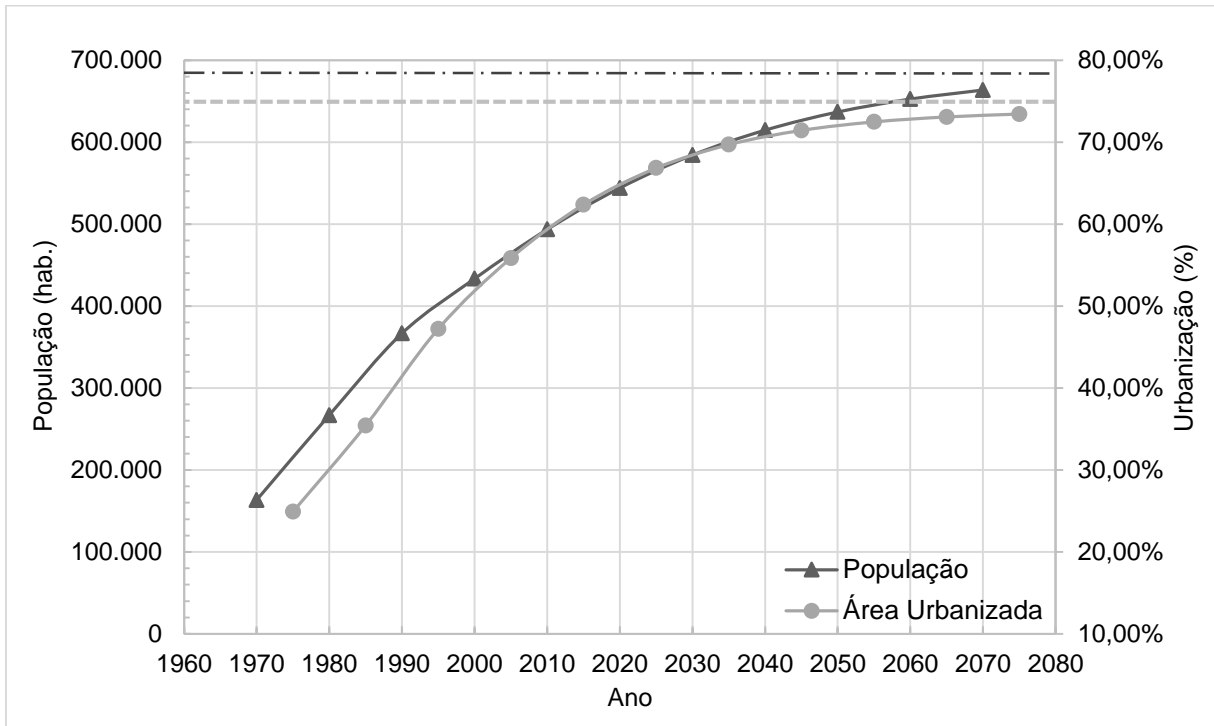
Fonte: SIDRA, 2016a.

Entre 1970 e 1980 o crescimento populacional urbano do município de Londrina (PR) foi de 63%, entre 1980 e 1991 de 37%, entre 1991 e 2000 de 18% e entre 2000 e 2015 de 14%. Tais valores acompanham a expansão da área urbanizada na bacia, principalmente no início. Atualmente a variação do índice de ocupação da bacia se encontra abaixo desse percentual de crescimento populacional, indicando que a cidade cresce também em outras regiões.

Por meio do modelo de crescimento logístico foram obtidas as projeções para os percentuais de áreas urbanizadas tal como para o crescimento populacional. Para a urbanização, o valor de saturação foi de 73,94%, já para o crescimento populacional, o valor tende a 687.289 habitantes. O Gráfico 3 apresenta as curvas de crescimento e as a reta de saturação.

Através do gráfico é possível verificar que a curva que indica o crescimento populacional e o de percentual de área urbanizada praticamente se sobrepõem. Também é possível notar que, tanto a urbanização da bacia quanto o crescimento populacional já caminham para a proximidade da saturação.

**Gráfico 3** - Comparação entre o crescimento populacional urbano do município de Londrina/PR e o crescimento da urbanização da Bacia do Ribeirão Cambé.



**Fonte:** A autora.

É necessário salientar que tais valores são probabilísticos, que matematicamente tendem a estes valores, mas há a possibilidade de tais valores se modificarem em razão de mudanças no meio, no caso, conjunturas políticas, econômicas, ambientais e sociais, para o caso do crescimento populacional. Já em relação às áreas, tais valores podem se modificar com a especulação imobiliária como também com mudanças no zoneamento de bairros da bacia.

### 6.3 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN

O  $CN_{\text{médio}}$  final é resultante da multiplicação da porcentagem de cada tipo de utilização e cobertura do solo (apresentado no Gráfico 2) por seu respectivo valor de  $CN_{\text{médio}}$  obtido através da Tabela 9, e por fim a somatória destes valores. Essa operação foi realizada para todos os anos analisados (1975 a 2015). Pode-se verificar, através da Tabela 18, que o valor de  $CN_{\text{médio}}$  final aumenta no decorrer dos anos analisados.

**Tabela 18** - CN<sub>Médio</sub> final por ano analisado da Bacia do Ribeirão Cambé.

TEMA	1975	1985	1995	2005	2015
Urbanizada	22,9	32,6	43,4	51,4	57,4
Vegetação Densa	20,3	15,6	16,2	12,0	12,3
Vegetação Rasteira	31,7	20,8	17,5	16,9	14,2
Solo Exposto	5,7	12,7	6,4	4,9	2,2
<b>CN<sub>Médio</sub></b>	<b>80,7</b>	<b>81,7</b>	<b>83,6</b>	<b>85,2</b>	<b>86,1</b>

**Fonte:** A autora.

O crescimento do CN<sub>médio</sub> se explica pelo fato de aumentar as áreas urbanizadas, através de edificações residenciais e comerciais e abertura de ruas pavimentadas, e pela redução das áreas verdes, ou seja, de vegetação densa e rasteira. O valor de CN é tanto maior quanto maior for a impermeabilização (limite superior - 100), paralelamente, menor o valor de CN para áreas mais permeáveis (limite inferior).

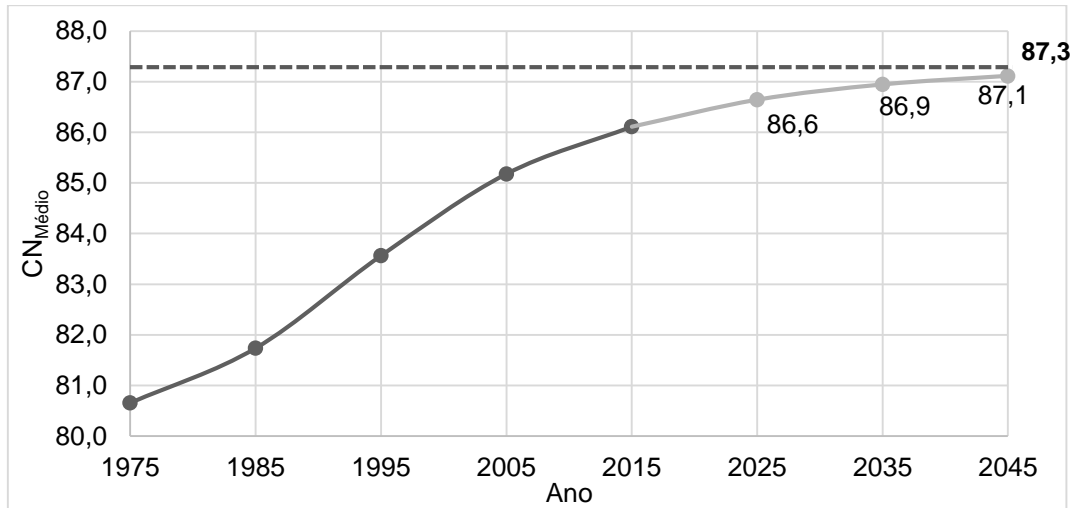
Pode-se observar que a variação de CN<sub>médio</sub> em relação ao crescimento da área urbana na bacia é pequena, tal que o aumento da área urbanizada em relação a década anterior é de 42%, 33%, 18% e 12%, respectivamente, para o CN<sub>médio</sub> é de 1,3%, 2,2%, 1,9% e 1,1%. Isso evidencia a importância da conservação da vegetação (rasteira e densa) para o controle do valor de CN, pois quanto maior a área permeável, menor é o valor do coeficiente.

A bacia tem um limite natural de saturação, onde não haverá mais mudanças no uso e cobertura do solo, seja por conta da própria saturação populacional, seja por causa da especulação imobiliária. O fato é que, em um dado momento, cessarão ou terá grande redução, as modificações no uso e cobertura do solo. Assim, através da fórmula de crescimento logístico, tem-se que o valor de CN tende assintoticamente a um valor de saturação. Este valor de saturação para a bacia analisada é de 87,3. A curva de crescimento do valor de CN<sub>médio</sub> final é apresentada no Gráfico 4.

O Gráfico 4 ilustra a variações do valor de CN<sub>médio</sub> para a bacia. Na primeira fase deste gráfico nota-se que nos anos iniciais de estudo (1975 e 1985) a taxa de crescimento de CN<sub>médio</sub> era maior que do período mais recente (2005 a 2015), mas que o aumento significativo foi entre os anos de 1985 a 1995 e 1995 a 2005. Esta taxa maior se deve ao fato da especulação imobiliária local, que teve seu “boom” nos

anos 2000. De 2005 para 2015, a taxa foi pequena, indicando a proximidade da saturação, como mostra a segunda fase do gráfico.

**Gráfico 4** - Crescimento de  $CN_{Médio}$  final para a Bacia do Ribeirão Cambé.



**Fonte:** A autora.

A medida que o CN se aproxima do valor da saturação, valor este que corresponde a limite máximo de ocupação da bacia, menores são as taxas de crescimento ao longo dos anos. No gráfico são apresentados valores estimados de  $CN_{Médio}$  para os anos de 2025, 2035 e 2045, que são: 86,6; 86,9; e 87,1, respectivamente.

#### 6.4 CHUVAS INTENSAS

Através da utilização da fórmula de chuvas intensas elaborada por Fendrich (2011) para o município de Londrina/PR, obteve-se a Tabela 19, com os valores de intensidade de precipitação ( $I$ ) em mm/h, para os tempos de duração ( $t_d$ ) de 5, 15 e 30 minutos e 1 e 6 horas, e tempo de retorno ( $T_r$ ) de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, que foram preestabelecidos.

Foram selecionados esses valores de  $T_r$  por serem os utilizados para o cálculo de dimensionamento de redes de micro e macrodrenagem pluvial urbana, para o caso do tempo de retorno. Já para o  $t_d$ , levou-se em conta o fato de serem responsáveis pelas precipitações mais frequentes, ou seja, as chuvas de curta duração.

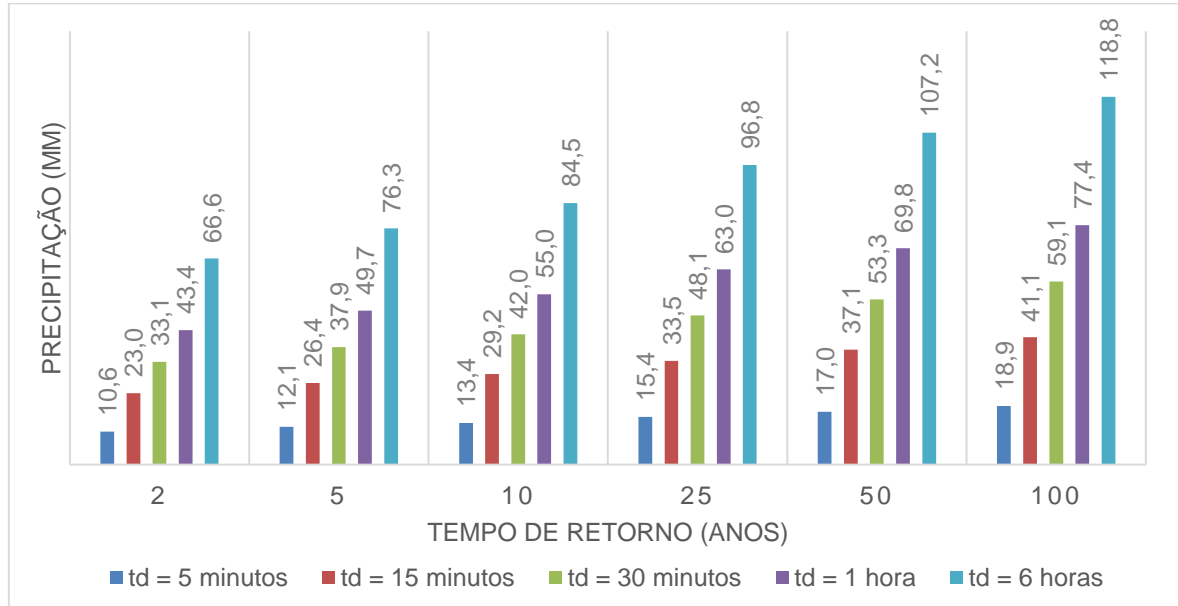
**Tabela 19** - Intensidade da precipitação em função de  $T_r$  e  $t_d$  pela fórmula de Fendrich (2011).

I (mm/h)		$T_r$ (anos)					
		2	5	10	25	50	100
$t_d$ (minutos)	5	127,1	145,5	161,2	184,6	204,6	226,7
	15	92,1	105,5	116,9	133,9	148,3	164,4
	30	66,2	75,9	84,1	96,3	106,7	118,2
	60	43,4	49,7	55,0	63,0	69,8	77,4
	360	11,1	12,7	14,1	16,1	17,9	19,8

Fonte: A autora.

Com o intuito de facilitar a interpretação desses dados, a intensidade da precipitação foi transformada em precipitação, isto é, o valor da intensidade ( $I$ ) foi multiplicado pelo tempo de duração da referida chuva ( $t_d$ ). Tais valores são apresentados no Gráfico 5.

**Gráfico 5** - Valor de precipitação pela fórmula de Fendrich (2011).

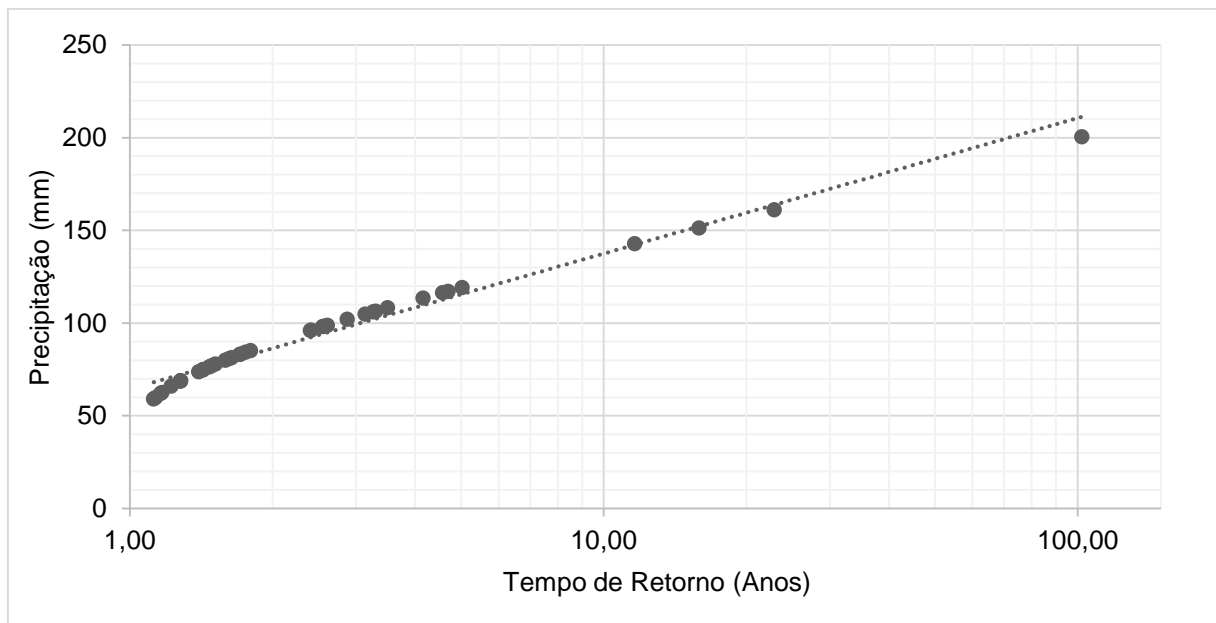


Fonte: A autora.

Pode-se notar no gráfico que, apesar dos valores, as colunas de  $t_d$  possuem a mesma taxa de crescimento nos tempos de retorno, isso se deve ao fato de ter sido utilizada a equação contínua, que é uma aproximação do gráfico original de IDF.

A Tabela 20 apresenta a distribuição de Gumbel para os anos selecionados (1976 a 2015), onde foram analisadas as séries históricas das precipitações diárias máximas anuais. Os valores de altura máxima e tempo de retorno das chuvas de Londrina foram plotadas no Gráfico 6, sendo a ordenada em escala aritmética e a abscissa em escala logarítmica, respectivamente.

**Gráfico 6** - Ajuste gráfico da distribuição de Gumbel para Londrina/PR entre 1976 e 2015.



**Fonte:** A autora.

A equação que expressa a relação entre as alturas máximas de chuvas esperadas ( $x_i$ ) e o tempo de retorno ( $T_{r_i}$ ) é apresentada pela Equação 18. O gráfico pode ser também ajustado por uma linha logarítmica.

$$x_i = 26,1240 \cdot \left[ -\ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_{r_i}} \right) \right) \right] + 79,7740 \quad \text{Equação 18}$$

**Tabela 20** - Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR.

ANO	ORDEM	CHUVA MÁXIMA (mm)	FREQUÊNCIA (%)	VARIÁVEL REDUZIDA	PROBALIDADE (%)	TEMPO DE RETORNO (anos)
2012	1	200,5	2,44	4,62	0,98	102,12
1997	2	161,0	4,88	3,11	4,37	22,91
1984	3	151,2	7,32	2,73	6,29	15,90
1992	4	142,7	9,76	2,41	8,60	11,63
1991	5	119,1	12,20	1,51	19,90	5,02
1989	6	117,1	14,63	1,43	21,31	4,69
1977	7	116,3	17,07	1,40	21,89	4,57
1993	8	113,5	19,51	1,29	24,04	4,16
2010	9	108,2	21,95	1,09	28,60	3,50
1994	10	106,4	24,39	1,02	30,29	3,30
1998	11	106,0	26,83	1,00	30,68	3,26
2007	12	104,8	29,27	0,96	31,86	3,14
1982	13	102,0	31,71	0,85	34,76	2,88
2011	14	98,8	34,15	0,73	38,29	2,61
1985	15	98,2	36,59	0,71	38,98	2,57
2015	16	98,0	39,02	0,70	39,21	2,55
1996	17	96,1	41,46	0,62	41,45	2,41
2009	18	96,0	43,90	0,62	41,57	2,41
2014	19	85,2	46,34	0,21	55,62	1,80
2005	20	84,2	48,78	0,17	57,01	1,75
1987	21	83,2	51,22	0,13	58,40	1,71
1988	22	83,0	53,66	0,12	58,68	1,70
1978	23	81,4	56,10	0,06	60,92	1,64
2013	24	80,8	58,54	0,04	61,77	1,62
1980	25	80,0	60,98	0,01	62,89	1,59
1990	26	77,8	63,41	-0,08	65,99	1,52
2002	27	77,0	65,85	-0,11	67,11	1,49
2001	28	76,4	68,29	-0,13	67,95	1,47
1976	29	75,0	70,73	-0,18	69,90	1,43
1983	30	74,8	73,17	-0,19	70,17	1,43
1999	31	74,8	75,61	-0,19	70,17	1,43
2003	32	73,8	78,05	-0,23	71,55	1,40
2000	33	68,9	80,49	-0,42	78,05	1,28
1995	34	68,8	82,93	-0,42	78,17	1,28
2004	35	68,8	85,37	-0,42	78,17	1,28
1981	36	65,9	87,80	-0,53	81,75	1,22
1986	37	62,5	90,24	-0,66	85,59	1,17
1979	38	62,0	92,68	-0,68	86,12	1,16
2008	39	59,8	95,12	-0,76	88,33	1,13
2006	40	59,0	97,56	-0,80	89,08	1,12

Fonte: A autora.

Na Tabela 21 são apresentados os valores de precipitação (mm), obtidos através da Equação 14, onde Cte se refere a constante de desagregação. Já na Tabela 22 são apresentados os valores de intensidade de precipitação (mm/h), obtidos conforme a Equação 17. Em ambos os  $T_r$  e  $t_d$  analisados para o cálculo são os mesmos utilizados na equação de Fendrich (2011).

**Tabela 21** – Precipitação através da distribuição de Gumbel e desagregação para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR.

P (mm)			T <sub>r</sub> (anos)					
			2	5	10	25	50	100
t <sub>d</sub>	Cte.	1 dia	89,35	118,96	138,56	163,33	181,71	199,95
	1,14	24 horas	101,86	135,61	157,96	186,20	207,15	227,94
	0,8208	6 horas	73,34	97,64	113,73	134,06	149,15	164,12
	0,4788	1 hora	42,78	56,96	66,34	78,20	87,00	95,74
	0,354312	30 min	31,66	42,15	49,09	57,87	64,38	70,84
	0,248018	15 min	22,16	29,50	34,37	40,51	45,07	49,59
	0,120466	5 min	10,76	14,33	16,69	19,68	21,89	24,09

Fonte: A autora.

**Tabela 22** – Intensidade de precipitação através da distribuição de Gumbel e desagregação para chuvas máximas de “um dia” no período de 1976 a 2015 para Londrina/PR.

I (mm/h)		T <sub>r</sub> (anos)					
		2	5	10	25	50	100
t <sub>d</sub> (min)	1440	4,24	5,65	6,58	7,76	8,63	9,50
	360	12,22	16,27	18,96	22,34	24,86	27,35
	60	42,78	56,96	66,34	78,20	87,00	95,74
	30	63,31	84,30	98,19	115,74	128,76	141,69
	15	88,64	118,02	137,46	162,04	180,27	198,36
	5	129,16	171,97	200,31	236,11	262,68	289,04

Fonte: A autora.

Correlacionando apenas as intensidades com as durações das chuvas, para determinado tempo de retorno, verifica-se que, quanto maior a

intensidade da chuva, menor é sua duração, apresentando a curva genérica um comportamento hiperbólico, como apresentada no Gráfico 1. Ao passo que as maiores intensidades de chuva ocorrem para maiores tempos de retorno, ou seja, o tempo necessário para que tal evento seja igualado ou superado aumenta com o aumento da intensidade.

Tomando-se as intensidades máximas médias do mesmo período de retorno e grafando-as contra as respectivas durações, revela-se uma família de curvas, em que as intensidades decrescem com o aumento da duração, para um episódio pluvial isolado. O Gráfico 1 esboça tal afirmação.

Na Tabela 23 é apresentada a diferença percentual da distribuição de Gumbel e a desagregação com a equação de chuvas intensas elaborada por Fendrich (2011). Ao analisar essa tabela pode-se logo notar que existe uma grande diferença entre os métodos testados, com variação absoluta de 1,38% a 28,10%.

**Tabela 23** - Diferença percentual da distribuição de Gumbel e desagregação com a equação de IDF de Fendrich (2011).

P (mm)	T <sub>r</sub> (anos)					
	2	5	10	25	50	100
	(%)					
t <sub>d</sub> = 5 minutos	-1,63	-15,39	-19,51	-21,80	-22,11	-21,57
t <sub>d</sub> = 15 minutos	3,93	-10,60	-14,96	-17,38	-17,71	-17,14
t <sub>d</sub> = 30 minutos	4,62	-10,01	-14,39	-16,83	-17,16	-16,58
t <sub>d</sub> = 1 hora	1,38	-12,80	-17,05	-19,41	-19,73	-19,17
t <sub>d</sub> = 6 horas	-9,19	-21,89	-25,70	-27,81	-28,10	-27,60

Fonte: A autora.

Os valores das diferenças percentuais entre a distribuição de Gumbel e desagregação com a equação de IDF de Fendrich (2011) indicam que há uma discrepância entre os resultados obtidos pelos dois métodos, evidenciando que ao se utilizar a Equação de Fendrich (2011) pode-se estar subdimensionando uma rede de drenagem, por exemplo.

Tal afirmação é baseada no fato de que os valores utilizados na distribuição de Gumbel são referentes a uma série histórica de 40 anos (1976 – 2015), ao passo que a equação de Fendrich (2011) é fundamentada numa série histórica de

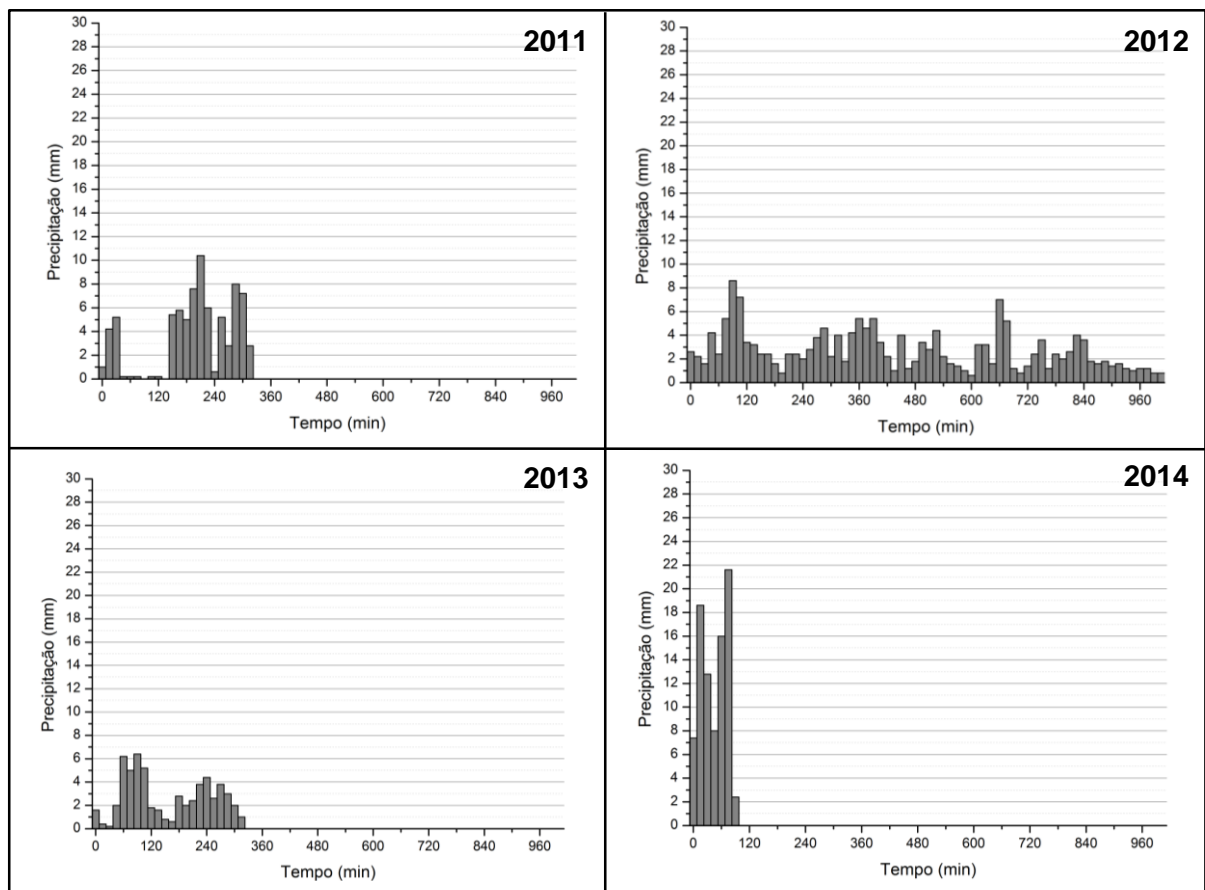
apenas 11 anos (1975 – 1985), podendo esta não ser significativa para todo o período avaliado.

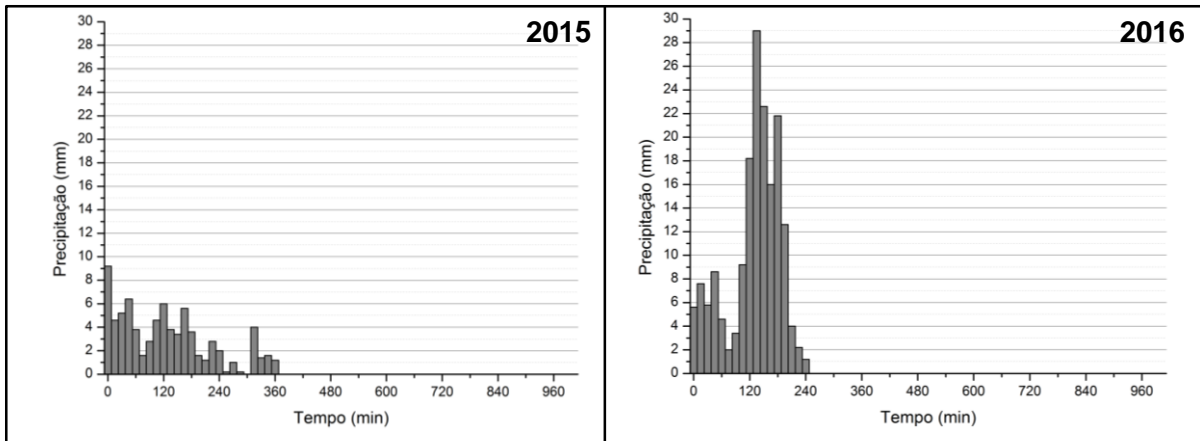
## 6.5 ALAGAMENTOS NO LAGO IGAPÓ E ENTORNOS

Com base nos dados de pluviógrafos do SIMEPAR, que registram a precipitação a cada 15 minutos, foram gerados os hietogramas das chuvas que causaram os alagamentos no Lago Igapó e em seu entorno. As datas em que ocorreram tais eventos foram: 15/10/2011, 19/06/2012, 24/10/2013, 22/12/2014, 30/11/2015 e 11/01/2016. A Figura 19 apresenta os hietogramas destes eventos.

Os hietogramas da Figura 19 demonstram que as chuvas que causaram transtornos nos lagos da bacia hidrográfica em estudo apresentam diferentes configurações de distribuição temporal, ou seja, a localização do pico da precipitação em cada hietograma ocorre em momentos distintos, bem como a duração das chuvas.

**Figura 19** - Hietogramas das chuvas que causaram alagamentos no Lago Igapó e entorno.





Fonte: SIMEPAR, 2016.

De acordo com o apresentado na Tabela 2, onde foram mostrados os valores da precipitação, bem como a duração, foi possível determinar os tempos de retorno (ou de recorrência) das chuvas que causaram inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé. Tal cálculo foi efetuado através da equação obtida pela distribuição de Gumbel para chuvas máximas diárias anuais, mostrada na Equação 18, onde, inicialmente, foram determinados os valores da precipitação de “um dia”. Esses valores são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24** – Tempo de retorno das chuvas responsáveis pelos transbordamentos do Lago Igapó.

	ANO DA OCORRÊNCIA					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>PRECIPITAÇÃO EM “UM DIA” (mm)</b>	93,0	192,8	86,8	83,6	61,0	275,2
<b>TEMPO DE RETORNO (<math>T_r</math>) (anos)</b>	2,2	76,2	1,9	1,7	1,1	1774,1

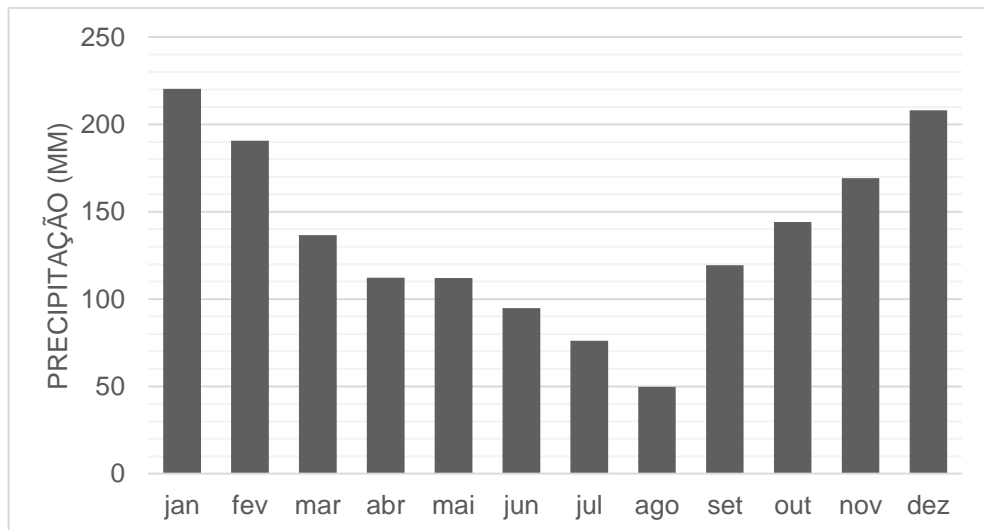
Fonte: A autora.

No ano de 2011 o primeiro ano de análise do transbordamento da barragem do Lago Igapó, o evento chamou a atenção de autoridades e da população. Na análise do tempo de retorno da chuva que causou adversidades tanto para cidade como para a região do Lago, verifica-se que se tratava de uma chuva que ocorre a cada 2,2 anos, considerada comum. Isso porque no dimensionamento de obras de microdrenagem são recomendados valores entre 2 (áreas residenciais) e 5 (áreas

comerciais) anos, e para a macrodrenagem, de 10 a 25 anos (PORTO ALEGRE, 2005).

O fator que pode ter contribuído para que ocorresse o transbordamento foi a chuva acumulada nos cinco dias anteriores a este evento, que registrou, segundo IAPAR (2016), um acumulado de 72,7 mm, valor alto quando somado com o precipitado na data, que foi de 93,0 mm. Desta forma, em seis dias choveu 165,7 mm, o que equivale a 115% da média histórica do mês de outubro, conforme mostra o Gráfico 7. Ou seja, a saturação do solo e a chuva constante culminaram neste evento.

**Gráfico 7** - Precipitação média mensal para Londrina entre os anos de 1976 e 2015.



**Fonte:** ÁguasParaná, 2016.

Analisando os dados do ano de 2012 verificou-se que remetia a uma chuva intensa com tempo de retorno de 76 anos, valor considerado alto, ou seja, se tratava de um evento de baixa frequência, logo, raro, já que o ano de fundação da cidade é 1934 (82 anos). Como consequência desse grande volume de chuva, houve mais uma vez o transbordamento da barragem do Lago Igapó I, como também o transbordamentos dos demais Lagos (II, III e IV) e da região do aterro.

No ano de 2013 ocorreu, novamente, uma chuva de baixo grau no que se refere a chuvas intensas, mas que acabou causando transtornos no entorno do aterro do Lago Igapó, tal como alagamentos e quedas de árvores. A intensidade desta chuva é considerada baixa, cujo tempo de retorno foi de aproximadamente 2 anos, evidenciando a insuficiência do sistema de drenagem.

Em 2014 ocorreu o transbordamento do Lago Igapó II e o alagamento do aterro, a chuva pode ser considerada de baixa magnitude, com tempo de retorno de 1,7 anos, previsto no dimensionamento de obras de drenagem. Apesar de ter ocorrido uma chuva de 83,6 mm em 24 horas, eventos anteriores não teriam contribuído para tal episódio, já que nos três dias anteriores o acumulado foi de 21,2 mm de chuva. Indicando que, além do aumento do escoamento superficial devido a impermeabilização, localmente, o Lago Igapó se encontra assoreado.

Apesar do tempo de retorno da precipitação que ocorreu em 2015 ser pequena, de pouco mais de 1 ano, o que auxiliou no alagamento do entorno do aterro do Lago Igapó foram as precipitações acumuladas. Nos três dias anteriores foi de 47,0 mm, mas o acumulado do mês foi de 569,2 mm, quando a média histórica no mês de novembro em Londrina (PR) é de 169,2 mm (Gráfico 7), visto que este evento ocorreu no final do mês (dia 30). A própria saturação do solo, a vazão da barragem e o volume escoado superficialmente, todos estes fatores aliados contribuíram para que este episódio acontecesse.

Em relação às chuvas que ocorreram no início de 2016 na região de Londrina, pode-se dizer que foram atípicas e muito raras, uma vez que o tempo de retorno destas foi de 1774 anos, considerado um evento excepcional. Tanto foi que as consequências destas chuvas se refletem até hoje nas cidades atingidas, uma vez que causaram transbordamento de rios, deslizamentos de terras, danificaram ruas e estradas, provocaram queda de árvores e energia, destruíram pontes, entre outros.

Este episódio fez com que o governo do estado do Paraná decretasse situação de emergência em 25 municípios da região. O reflexo desse evento, na região em estudo, foi o transbordamento da barragem do Lago Igapó como também dos demais lagos e do aterro, encobrimento das ruas e avenidas do entorno e algumas casas ficaram inundadas.

A frequência com que esses eventos de chuvas de grandes proporções vem ocorrendo leva a crer que os efeitos do aquecimento global tem influenciado no regime de chuvas da cidade. Conforme Trenberth et al. (2003), o aquecimento global altera o ciclo hidrológico, pois o aumento da temperatura acarreta no aumento da capacidade de retenção da umidade da atmosfera numa taxa de cerca de 7%/°C. Essas variações podem ser notadas nas características das chuvas, tal como na quantidade, frequência, intensidade, duração e tipo.

Bertolini et al. (2014) estudaram a mudança temporal nas precipitações entre 1955 e 2007 na Toscana (Itália), a partir de dados diários de 21 estações meteorológicas, com o intuito de identificar alguma tendência nos índices de precipitação sazonais e anuais. Foi observado uma diminuição na precipitação anual durante o inverno e a primavera, principalmente nas áreas a noroeste. Tal estudo confirmou a eficiência do clustering para análise da distribuição espacial de precipitação.

Outro fator que deve ser considerado é o assoreamento do complexo do Lago Igapó. Isto pode ser verificado através da observação temporal do local, o qual nota-se a formação de ilhas, bem como a redução da lâmina d'água em diversos pontos, principalmente nos Lagos II e III. A ineficiência do sistema de drenagem urbano no entorno do Lago Igapó pode ser responsável pelo alagamento de vias, uma vez que estas podem estar subdimensionadas, bem como estarem obstruídas. Tais fatos ficaram mais evidentes nos anos de 2013 e 2014, ou seja, que mesmo chuvas de curtos tempos de retorno provocaram inundações na região do Lago. Outro fator é o aumento do volume escoado superficialmente, resultado do gradual aumento da impermeabilização do solo, logo, da urbanização.

Pode-se tomar algumas medidas estruturais e não estruturais a fim de se minimizar os danos. No caso do Lago Igapó, local para onde verte o escoamento da bacia, seriam necessárias medidas estruturais como o desassoreamento desse reservatórios de retenção e como medida não-estrutural, o desenvolvimento e implantação de um plano diretor de drenagem para o município de Londrina.

## 6.6 HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A partir das características da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé e das condições de uso e cobertura do solo estimadas para cada cenário, foram determinados os tempos de concentração ( $t_c$ ) referente a cada cenário analisado, uma vez que este varia de acordo com as descrições do escoamento (método cinemático do SCS). A importância desse parâmetro é devido a velocidade em que ocorre o escoamento das águas pluviais, quanto mais impermeável é a área, maior é a velocidade de escoamento, tendendo a diminuir o tempo de concentração.

Na Tabela 25 é possível observar os tempos de concentração dos cenários analisados. Ao se comparar os cenário de 1975 com os de 2015 e 2035 nota-

se a redução do tempo de concentração de 37,0% e 44,7%, respectivamente, enquanto que ao verificar o CN destes mesmos cenários tem-se um aumento de 6,7% e 7,7% em relação ao ano de início do estudo. De mesmo modo, ao relacionar 2015 com 2035, tem-se uma redução de 12,3% no tempo de concentração quando o aumento de CN é de 1,0%. Dessa forma, pode-se afirmar que o valor de CN potencializa a velocidade de escoamento da água, reduzindo o tempo de concentração.

**Tabela 25** – Tempos de concentração e precipitações para os diferentes cenários e tempos de retorno.

TEMPO DE RETORNO (anos)	1975 $t_c = 2,84 \text{ h}$		2015 $t_c = 1,79 \text{ h}$		2035 $t_c = 1,57 \text{ h}$	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)
5	25,05	71,27	35,69	64,05	39,32	61,72
10	26,72	76,01	38,06	68,31	41,93	68,83
25	29,10	82,77	41,45	74,39	45,66	71,68
50	31,04	88,28	44,21	79,34	48,70	76,45
100	33,10	94,16	47,15	84,62	51,95	81,55

Fonte: A autora.

É importante frisar que a redução do tempo de concentração é um reflexo da impermeabilização do solo, no entanto, neste estudo, onde o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração, repercute-se também na intensidade da precipitação de projeto. Ou seja, quanto menor é o tempo de concentração da bacia, maior é a intensidade da chuva, o que culmina no aumento das vazões de pico.

Através do método do hidrograma unitário sintético curvilíneo do SCS aliado a convolução, foi possível calcular o volume do escoamento superficial direto e a vazão de pico para as precipitações obtidas a partir do método dos blocos alternados. Foram gerados hidrogramas para tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos para os cenários anterior a urbanização (1975), posterior a urbanização (e atual - 2015) e a futura expansão urbana na bacia (2035) (Tabela 26).

**Tabela 26** - Vazões de pico dos hidrogramas de cada cenário.

TEMPO DE RETORNO (anos)	VAZÃO DE PICO (m <sup>3</sup> /s)		
	1975 t <sub>c</sub> = 2,84 h	2015 t <sub>c</sub> = 1,79 h	2035 t <sub>c</sub> = 1,57 h
5	52,90	99,26	114,00
10	59,40	109,73	125,74
25	68,93	124,85	142,68
50	76,89	137,34	156,63
100	85,54	150,79	171,64

**Fonte:** A autora.

À primeira vista, fica claro que os maiores valores de vazão correspondem ao maior tempo de retorno, de 85,54%, 150,79% e 171,64% para os anos de 1975, 2015 e 2035, respectivamente. A vazão é diretamente proporcional ao tempo de retorno, sendo a menor vazão atribuída ao menor tempo de retorno (5 anos) e a maior vazão ao maior T<sub>r</sub>, que é de 100 anos. Isso ocorre pois na equação de IDF, a intensidade da chuva é proporcional ao tempo de retorno.

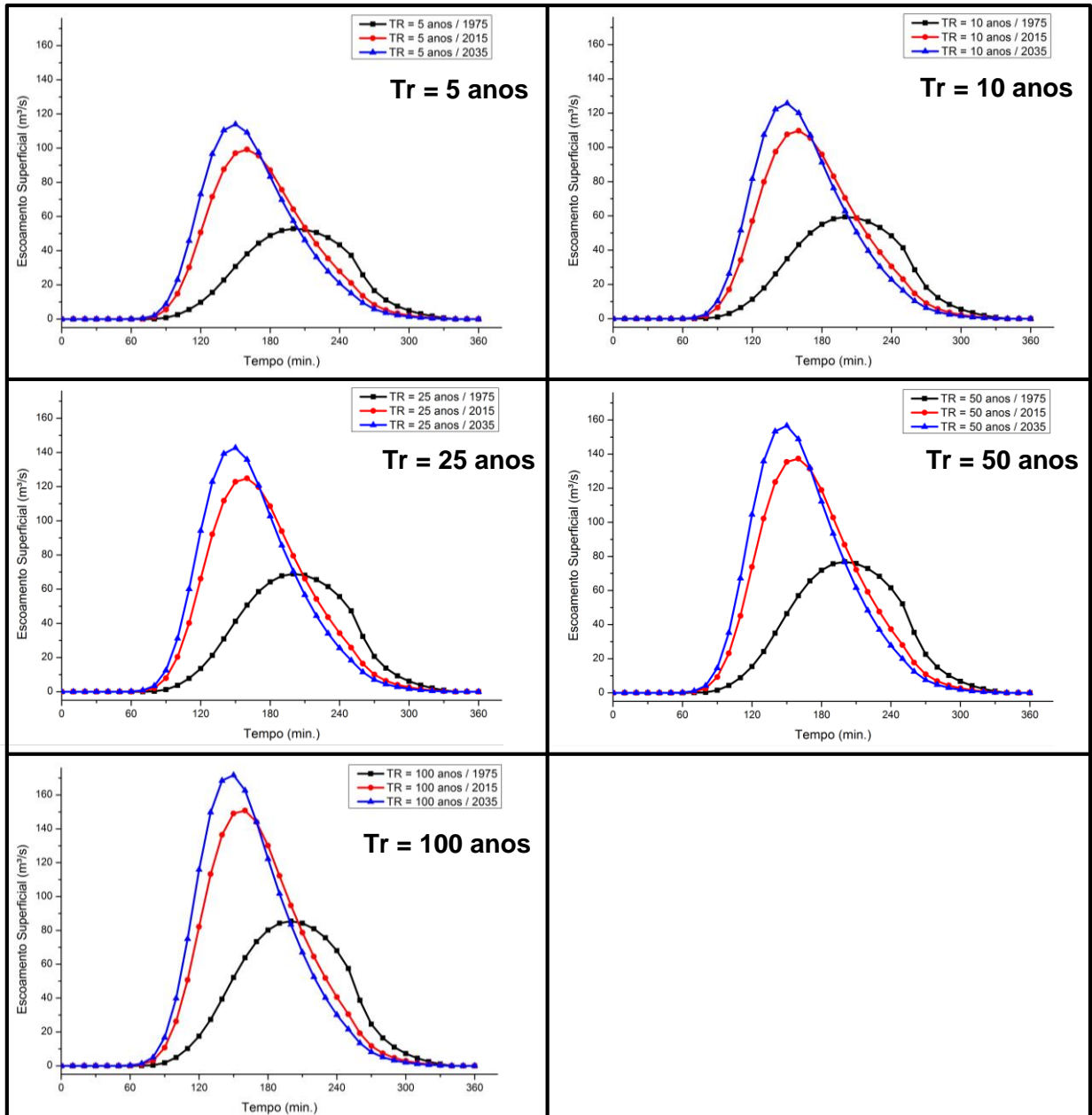
Tal aumento no volume escoado superficialmente pode ocasionar problemas de inundação urbana, principalmente nas proximidades do Lago Igapó, para onde a água converge, e de transbordamento das galerias pluviais. Isso porque os canais de drenagem podem não suportar o volume escoado, seja devido ao subdimensionamento das galerias ou a obstrução das mesmas.

Conforme apresenta a Tabela 26, há um acréscimo médio de 81,7% e 107,7% na vazão de pico ao comparar a situação no ano de 1975 com os anos de 2015 e 2035, respectivamente, sendo que essa diferença é mais visível quando o tempo de retorno é menor. Através da Figura 20 verifica-se também que à medida em que há a expansão da área impermeabilizada, ou seja, da urbanização, o aumento do valor de CN gera aumento da vazão de pico, como também a antecipação do tempo de pico. Dessa forma, antes da urbanização (1975) tem-se um hidrograma mais achatado e distribuído, contrapondo com o pós-urbanização (2035) que é mais alongado e estreito.

Os valores de vazão máxima comprovam que os aumentos nos valores de CN, isto é, das áreas impermeáveis, contribuem na geração do escoamento superficial. Tucci (2000) e Campana e Tucci (2000) também concluíram que as

alterações no uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas refletem no escoamento superficial.

**Figura 20** - Hidrogramas por tempo de retorno.



**Fonte:** A autora.

Portanto, o hidrograma de projeto revela ser dependente de diversas variáveis, tal como: precipitação, uso e cobertura do solo, capacidade de infiltração do solo, umidade antecedente do solo, características físicas da bacia, entre outros. É importante ressaltar que esses valores são indicativos de grandezas, obtidos através de métodos empíricos e semi-empíricos, criados a partir de observações e testes em

bacias com diferentes características. Apenas se obtém a precisão dos valores por meio de medições e avaliações constantes.

No município de Londrina/PR foi estabelecido em 31 de Agosto de 2013 o Programa Racional de Uso da Água pelo Conselho Municipal do Meio Ambiente através da Resolução nº 18. O objetivo deste programa é instituir medidas que induzam os usuários a conservar, utilizar de forma racional e buscar fontes alternativas de água nas edificações, assim como conscientizar a população da importância deste bem tão precioso (CONSEMMA, 2016).

Um dos pontos mais importantes desta resolução é a obrigatoriedade da captação da água pluvial para construções e ampliações, a partir de 01 de Janeiro de 2010. Esta resolução é aplicada em novas edificações com área total construída igual ou superior a 200 m<sup>2</sup> e em ampliações de edificações existentes, igual ou superior a 200 m<sup>2</sup> de área de construção. Também se estabelece que as cisternas devem ter um volume mínimo de 2000 litros (2 m<sup>3</sup>), mas o cálculo do volume do reservatório é determinado pela fórmula:  $V = 0,01 \cdot A_c$ , onde:  $V$  é o volume mínimo do reservatório em m<sup>3</sup> e  $A_c$  é a área total de cobertura das edificações novas ou área de cobertura da ampliação de edificações existentes em m<sup>2</sup>.

Pode-se dizer que esta resolução não apenas tem interesse ambiental na conservação de recursos hídricos, mas também alivia a rede de drenagem urbana, visto que acaba reduzindo a vazão de pico do hidrograma.

Os métodos de cálculo são frequentemente criados ou aprimorados, tal que possam abranger maiores situações e com melhor precisão. É o caso do método do SCS (1975), para o qual Jiao et al. (2015) sugere mudanças nas perdas iniciais por infiltração e na constante de decaimento, tal que estes representam o armazenamento e a perda no processo de precipitação diária antecedente. Existem diversos autores que propõe mudanças ao método como também os que fazem críticas a este. A aplicação das fórmulas de tempo de concentração são também bastante discutidas, uma vez que são geradas a partir de bacias específicas, geralmente rurais, mas muito usadas em bacias urbanas, desta forma vê-se a necessidade de se desenvolver fórmulas para esse tipo de uso do solo, como também para o caso de bacias brasileiras, carecem de métodos que as englobem.

No Anexo A são mostrados os hietogramas e hidrogramas gerados (Figura 21 a Figura 35).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na caracterização morfológica da bacia do Ribeirão Cambé, no município de Londrina/PR, foram obtidas a área de drenagem da bacia, perímetro, altitudes máxima e mínima, comprimento do canal principal e densidade de drenagem, que foram iguais a: 29,95 km<sup>2</sup>, 27,14 km, 630 e 520 m, 11,25 km e 0,80 km/km<sup>2</sup>, respectivamente. Sendo que este último valor indica que a bacia tem uma boa capacidade de drenagem. Outros parâmetros como o fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade também indicam que a bacia possui baixo risco de enchentes.

A utilização das imagens dos satélites LANDSAT aliada a utilização do software SPRING permitiram acompanhar a dinâmica das modificações do uso do solo ao longo desses 40 anos analisados. Verificou-se que a urbanização expandiu sobre as áreas de vegetação densa e rasteira e que as ocupações condizem com a história de desenvolvimento do município. O crescimento da área urbanizada na bacia foi de 150% no período analisado, ao passo que a de vegetação rasteira teve uma redução de 55%, assim como a de vegetação densa que foi de 40% no mesmo período.

A taxa de crescimento da urbanização foi decrescendo ao longo das décadas, sendo mais intenso no início, equivalente a 42%, 33%, 18% e 11%, respectivamente. Os valores de CN<sub>médio</sub> seguiram a mesma proporção de aumento, indicando que está havendo uma maior impermeabilização do solo ao longo dos anos, e que o valor de saturação está tendendo a 87,3.

Pode-se correlacionar o crescimento das áreas urbanizadas com o crescimento populacional urbano na cidade, que tiveram taxas de crescimento muito próximas, sendo de 63%, 37%, 18% e 14%, entre as décadas de 1970 e 2010 para a população. Através da curva de crescimento logístico pode-se verificar que a população urbana e a urbanização da bacia já estão se aproximando dos valores de saturação, sendo esses iguais a 687.289 habitantes e 73,94%.

Ao comparar os valores de intensidade de precipitação obtidos através da equação de IDF de Fendrich para Londrina com a distribuição de Gumbel de chuvas máximas diárias anuais e a desagregação destas para chuvas de 24 horas ou menores durações, tem-se que há uma grande diferença entre os valores. Tal fato se deve, principalmente, por causa da série histórica utilizada para cada formulação,

o qual Fendrich utilizou uma série de 11 anos (1975 – 1985) e na distribuição e desagregação foram usados 40 anos (1976 – 2015). A primeira acaba por se tornar pouco representativa, como também podem estar ocorrendo mudanças no regime de chuvas no município.

Os casos de alagamentos no Lago Igapó e entorno, que causam transtornos frequentes, foram resultados de diversos fenômenos meteorológicos. No anos de 2011 e 2015 foram devido às chuvas antecedentes que resultaram nos alagamentos, em 2013 e 2014 foi o assoreamento do Lago Igapó aliado a insuficiência do sistema de drenagem. Já em 2012 e 2016 a razão por qual ocorreram os alagamentos foram as chuvas intensas, o qual em 2012 teve tempo de retorno de 76 anos e em 2016 de 1774 anos. Dessa forma, pode-se afirmar que a frequência com que eventos extremos vem ocorrendo indicam mudanças no regime de chuva na cidade e na região.

O tempo de concentração do escoamento superficial da bacia teve uma redução de 37,0% e 44,7%, respectivamente, entre os anos de 2015 e 2035 quando comparadas com cenário de 1975, enquanto que ao verificar o CN destes mesmos cenários tem-se um aumento de 6,7% e 7,7% em relação ao início do estudo. O aumento do valor de CN, embora possa parecer pequeno, especialmente ao analisar década a década, acarreta em um aumento significativo nas vazões de pico do hidrograma. Tal que as condições de uso e cobertura do solo em 2015 e 2035 comparado com as de 1975, geram aumento médio de 81,7% e 107,7% da vazão de pico.

Portanto, pede-se aos gestores públicos do município uma discussão acerca do planejamento urbano e do controle de inundações, uma vez que esses estão se mostrando cada vez mais necessários para o desenvolvimento da cidade. O Plano Diretor de Drenagem Urbana é uma boa medida a ser tomada visando a mitigação dos impactos sociais, ambientais e econômicos a que estamos sujeitos a cada chuva intensa que ocorre na cidade.

Logo, a máxima é que, um melhor planejamento urbano faz com que a urbanização nas bacias hidrográficas seja feita de forma adequada, com a finalidade de permitir maior infiltração da água pluvial no solo e conseqüentemente diminuir o escoamento superficial, dessa forma, reduz-se a tendência da bacia às inundações e enchentes.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Sistema de Informações Hidrológicas – Altura de precipitação – Resumo Anual**. 2016. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelInicial>>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- ARCHELA, Rosely S.; VIZINTIM, Mirian; BARROS, Omar N. F.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B. **Atlas Ambiental do Município de Londrina: Expansão urbana de Londrina**. 2016. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/EXPANSAO/EXPANSAO.htm> >. Acesso em: 06 jan. 2016.
- ALVES, Julia. M. de P.; CASTRO, Paulo de. T. A. “Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos”. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- BARROS, Omar N. F.; BARROS, Mirian V. F.; ARCHELA, Rosely S.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B. **Atlas Ambiental do Município de Londrina: solos**. 2015. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/SOLOS.htm>>. Acesso em: 10 set 2015.
- BARTOLINI, Giorgio; MESSERI, Alessandro; GRIFONI, Daniele; MANINNI, Daniele; ORLANDINI, Simone. Recent trends in a seasonal and annual precipitation indices in Tuscany (Italy). **Theoretical and Applied Climatology**. Viana, v. 118, issue 1, p. 147-157, out./2014.
- BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M.. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4), 2009. p. 177-242.
- BORSATO, Fabiano H.; MARTONI, Astrid M.. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.
- BORTOLO, Carlos A. de. **Produção e apropriação de espaço livre público: o Lago Igapó**. 2009. 211 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica Espaço Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.
- BOTELHO, Rosângela G. M; SILVA, Antonio S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, Antonio C.; GUERRA, Antonio. J. T (Org.). **Reflexões sobre a Geografia física no Brasil**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 153-192.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 9 de janeiro de 1997, Seção 1, p. 470.

CALÇAVARA, Reginaldo A.. Uso de Sistema de Informação Geográfica e Modelo Digital de Elevação para obtenção de variáveis morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego São Vicente, Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 4, p. 1788-1800, 2012.

CÂMARA, Gilberto; SOUZA, Ricardo C. M.; FREITAS, Ubirajara M.; GARRIDO, Juan; II, Fernando M. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, May-Jun 1996.

CAMPANA, N. A; TUCCI, C. E. M. Estimativa de áreas impermeáveis de macrobacias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia** – Caderno de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 79-95, dez. 1994.

CAMPANA, N. A; TUCCI, C. E. M. Previsão da vazão em microbacias urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 4. n. 1, p. 19-33, jan./mar. 1999.

CARDOSO, Christiany A.; DIAS, Herly C. T.; SOARES, Carlos P. B.; MARTINS, Sebastião V.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I..Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v .22, n. 1, p.131-140, 1998.

CAVALCANTE, E. H.; DANZIGER, F. A. B.; GIACHETI, H. L.; SOUZA, A.; KORMANN, A. C. M.; BELINCANTA, A.; PINTO, C. S.; BRANCO, C. J. M. C.; CARVALHO, D.; FERREIRA, C. V.; MARINHO, F. A. M.; CINTRA, J. C. A.; DOURADO, K. C. A.; MORAES, L. S.; ALBUQUERQUE FILHO, L. H.; ALMEIDA, M. S. S.; GUTIERREZ, N. H. M.; ALBUQUERQUE, P. J. R.; CHAMEKI, P. R.; CUNHA, R. P.; TEIXEIRA, R. S.; MENEZES, S. M.. Campos Experimentais Brasileiros. **Geotecnia**, Lisboa, v. 111, p. 99-205, 2007.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 3 ed. São Paulo: CETESB, 1986. 452 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Bluncher, 1981.

CONSEMMA – Conselho Municipal do Meio Ambiente. **Resolução Nº 18 – Programa Racional de Uso da Água**. 2016. Disponível em: <[http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/consemma/Resolucoes/resolucao\\_consemma\\_18\\_uso\\_racional\\_agua.pdf](http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/consemma/Resolucoes/resolucao_consemma_18_uso_racional_agua.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2016.

DAMÉ, Rita de C. F.; TEIXEIRA, Claudia F. A.; TERRA, Viviane S. S.. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas de intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245-255, abr./jun. 2008.

DAMÉ, Rita de C. F.; PEDROTTI, Carla B. M.; CARDOSO, Maria A. G.; SILVEIRA, Camila P. de; DUARTE, Larissa, A.; ÁVILA, Marta S. V. de; MOREIRA, Aires C.. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação

obtidas a partir de dados. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 4, p. 505-509, out./dez., 2006.

DE PAULA, Amarildo S. de; BARROS, Omar N. F.; CAINZOS, Rigoberto L. P.; RALICHI, Ricardo. Dinâmica da ocupação e uso do solo em Londrina (PR): um olhar sobre a interface urbano rural. **Revista Franco-brasileira de Geografia**. São Paulo, v. 17, 2013.

ECOMETRÓPOLE. **Londrina, a ecometrópole brasileira!** Disponível em: <<https://sites.google.com/site/ecometropole/>>. Acesso em: 19 set 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites em Atividade**. 2016. Disponível em: <[http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/sensores\\_operantes.html](http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/sensores_operantes.html) >. Acesso em 01 fev. 2016.

FARIA, G. G. F. Caracterização física e análise comparativa das formas de uso e ocupação do solo (1970-1999) na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cambé. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 107-144, jul/dez 2005.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3 ed. Curitiba: Roberto Fendrich, 2011. 89p.

FLORENZANO, Teresa G.. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 97 p.

FISHERA, Carmelo R.; MODICA, Giuseppe; POLLINO, Maurizio. Land cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. **European Journal of Remote Sensing**. Itália, v. 45, p. 1-18. Mar. 2012.

G1 PR. **União reconhece situação de emergência em oito cidades do PR**.

Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2016/01/uniao-reconhece-situacao-de-emergencia-em-oito-cidades-do-pr.html>>. Acesso em: 30 jan. 2016

GONÇALVES, Gelsy W. P. S. **Urbanização e qualidade da água**: monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR. 2008. 191 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina, 2008.

GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. da. Degradação ambiental. In: \_\_\_\_\_. **Geomorfologia e meio ambiente**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 337-379.

HIGUCHI, Elisabeth M.. **A construção do Lago Igapó**. 1986. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em História) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1986.

HÖFIG, Pedro. **Diagnóstico da erodibilidade do solo na Bacia do Ribeirão Cambé, Londrina-PR, a partir dos mapas de declividade do solo**. 2012. 69 fls. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, 2012.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Classificação climática**. 2015. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 17 set 2015.

- \_\_\_\_\_. **Dados diários de Londrina**. 2016. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1828>>. Acesso em: 10 abr 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Paraná, Londrina**. 2015a. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233H4>>. Acesso em: 03 set. 2015a.
- \_\_\_\_\_. **Manual técnico de pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015b. 428p.
- \_\_\_\_\_. **Séries Históricas e Estatísticas**. 2016c. Disponível em: <>. Acesso em: 29 fev. 2016
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sobre o INPE, História**. 2016. Disponível em: <[http://www.inpe.br/institucional/sobre\\_inpe/historia.php](http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/historia.php)>. Acesso em: 02 fev. 2016.
- IPPUL – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina. Mapa temático de Uso e Ocupação do Solo – Lei 12.236/2015. Disponível em: <[http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/mapas\\_tematicos/usocup\\_015.pdf](http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/mapas_tematicos/usocup_015.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Cartas topográficas. 2016. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>. Acesso em: 13 jan. 2016.
- IWAI, Olga K.. Mapeamento do uso do solo urbano do município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélites. 2003. 127 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- IWANAGA, Corina H.. **O Lago Igapó e o londrinense**. 1989. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em História) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1989.
- JIAO, Pingjin; Xu, Di; Wang, Shaoli; YU, Yingduo; Han, Songjun. Improved SCS-CN method based on storage and depletion of antecedent daily precipitation. **Water Resources Management**. v. 29, n. 13, p. 4753-4765, ago./2015.
- LIMA, Walter de P.. **Princípios de manejo de bacias hidrológicas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.
- LONDRINA, Prefeitura Municipal de. **Plano municipal de saneamento básico**: relatório de diagnóstico da situação do saneamento. Londrina, 2009. p. 28-39.
- MAACK, R. **Geografia Física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olímpico, 2002.
- MAEDA, Karenine S.. **O “colar de esmeraldas” da paisagem londrinense**. 2008. 187 fls. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MATA-LIMA, Herlander; VARGAS, Hugo; CARVALHO, Julia. GONÇALVES, Marcia; CAETANO, Hugo; MARQUES, Andreia; RAMINHOS, Cristina. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 3, p. 525-536, jul./set. 2007.

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. 2016. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/inpe>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

MEDEIROS, Anderson M. L. de. SPRING – Tecnologia brasileira para GIS. **Revista FOSSGIS Brasil**, v. 1, n. 4, jan. 2012. Disponível em: <[www.fossgis.com.br](http://www.fossgis.com.br)>. Acesso em: 28 jan. 2016.

MELQUIADES, Fábio L.; GONÇALVES, Gelsy W. P. Soares; SILVA, Wisley D.; PARREIRA, Paulo S.; APPOLONI, Carlos, R.. Monitoramento de metais nos Lagos Igapó em Londrina, PR, usando a metodologia de EDXRF. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 129-138, jul./dez. 2008.

MCCUEN, Richard. H. **Hydrologic analysis and design**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.

MISHRA, Surendra K.; SINGH, Vijay P.. Another look at SCS-CN method. **Journal of Hydrologic Engineering**. Reston, v. 4, n. 3, p. 257-264, jul. 1999.

MOREIRA, Maurício A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2ª ed. Viçosa: UFV. 2003, 307 p.

NOALE, Renata Z.. **Avaliação do risco ambiental em sedimento dos lagos do riacho Cambé em Londrina pela distribuição de metais**. 2007. 73 fls. Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) – Universidade Estadual de Londrina, 2007.

NOVO, Evelyn M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Edgar Blücher. 1998, 308 p.

PARDO, Suellen Ribeiro. **Uma modelagem do transporte e reações dos ciclos do carbono e do nitrogênio no Lago Igapó I – Londrina, Paraná**. 2009. 94 fls. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Computacional) – Universidade Estadual de Londrina, 2009.

PAULA, Amarildo de S. de; CAINZOS, Rigoberto L. P.; BARROS, N. F.; RALISCH, Ricardo. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo entre 1987 e 2004 na zona de expansão urbana norte de Londrina-PR, utilizando Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2877-2890, 2012.

PAULINO, Paloma F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. 2014. 125 fls. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, 2014.

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal de. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana (Volume VI)**. Porto Alegre, 2005. 167 fls.

PORTO, Rubem L.; ZAHED FILHO, Kamel; TUCCI, Carlos E. M.; BIDONE, Francisco. Drenagem urbana. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4

ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4), 2009. p. 805-848.

PINTO, Nelson L. de S.; HOLTZ, Antonio C. T.; MARTINS, José A.; GOMIDE, Francisco L. S.. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgar Blücher. 1976, 278 p.

QUADROS, Luciana E. de; QUEIROZ, Manual M. F. de; VILAS BOAS, Marcio A.. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 401-410, 2011.

RESENDE, Sandra Catharinne Pantaleão. **Rugosidades urbanas em Londrina: descompassos socioambientais na apropriação dos corpos d'água**. 2010. 283 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina, 2010.

RIGHETTO, Antonio M.. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998, 840 p.

SANTANA, Cristiane J.; CAVALARO, Juliana; DE ANGELIS, Bruno, L. D. Técnicas de bioengenharia aplicadas a fundo de vale urbano, Londrina, Paraná. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 34-42, ago./2012.

SCHUROFF, Paulo A.; LIMA, Nicole R. de; BURGOS, Tatiane das N.; LOPES, Angélica M.; PELAYO, Jacinta S.. Qualidade microbiológica da água do Lago Igapó de Londrina - PR e caracterização genotípica de fatores de virulência associados a *Escherichia coli* enteropatogênica (EPEC) e *E. coli* produtora de toxina Shiga (STEC). **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 11-20, jul./dez. 2014.

SEMA - Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas do Paraná: séries históricas**. 2ª ed. Curitiba, 2013. p. 75-84.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo Demográfico**. 2016a. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=cd&o=24&i=P>>. Acesso em: 14 jan. 2016a

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por amostra de Domicílios**. 2016b. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=261&z=pnad&o=3&i=P>>. Acesso em: 29 fev. 2016b

SILVA, Demetrius D. da; GOMES FILHO, Raimundo R.; PRUSKI, Fernando F.; PEREIRA, Sílvio B.; NOVAES, Luciano F. de. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

SILVA, Demetrius D. da; PINTO, Franciso. R. L.; PRUSKI, Fernando F.; PINTO, Fernando. A. Estimativa e espacialização do parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 11-21, 1999.

SILVEIRA, André L. L da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, jan./mar. 2005.

SILVEIRA, André L. L.. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4), 2009. p. 35-52.

TAGIMA, Nelson; TERABE, Nádia Izumi. **Minibacia do Riacho Cambé**: diagnóstico físico-ambiental e mapeamento detalhado do solo. Londrina, Grafor, 2005. 92 p.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. 2 ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011. 592p.

TRENBERTH, Kevin E.; DAI, Aiguo; RASMUSSEN, Roy M.; PARSONS, David B. The changing character of precipitation. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Washington, v. 84, n. 9, p. 1205-1217, set./2003.

TUCCI, Carlos. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, p. 61-68, jan./mar. 2000.

TUCCI, Carlos E. M.. Escoamento superficial. In: \_\_\_\_\_. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4), 2009. p. 391-442.

TUCCI, Carlos E. M.. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, abr./jun. 2002.

TUCCI, Carlos E. M. (org.); PORTO, Rubem La L. (org.); BARROS, Mário T. de. **Drenagem urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.5). 414p.

\_\_\_\_\_. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678p.

\_\_\_\_\_. Parâmetros do hidrograma unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 195-199, abr./jun. 2003.

\_\_\_\_\_. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2. p. 5-12, jul./dez. 1997.

TUCCI, Carlos. E. M; COLLISCHONN, Walter. Drenagem urbana e controle de erosão. In: TUCCI, Carlos. E. M; MARQUES. David. M. L. da M. (Org). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000.

TUCCI, Carlos E. M.; GENZ, Fernando. Controle do Impacto da Urbanização. In: TUCCI, Carlos E. M. (org.); PORTO, Rubem La L. (org.); BARROS, Mário T. de. **Drenagem urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.5). p. 277-347

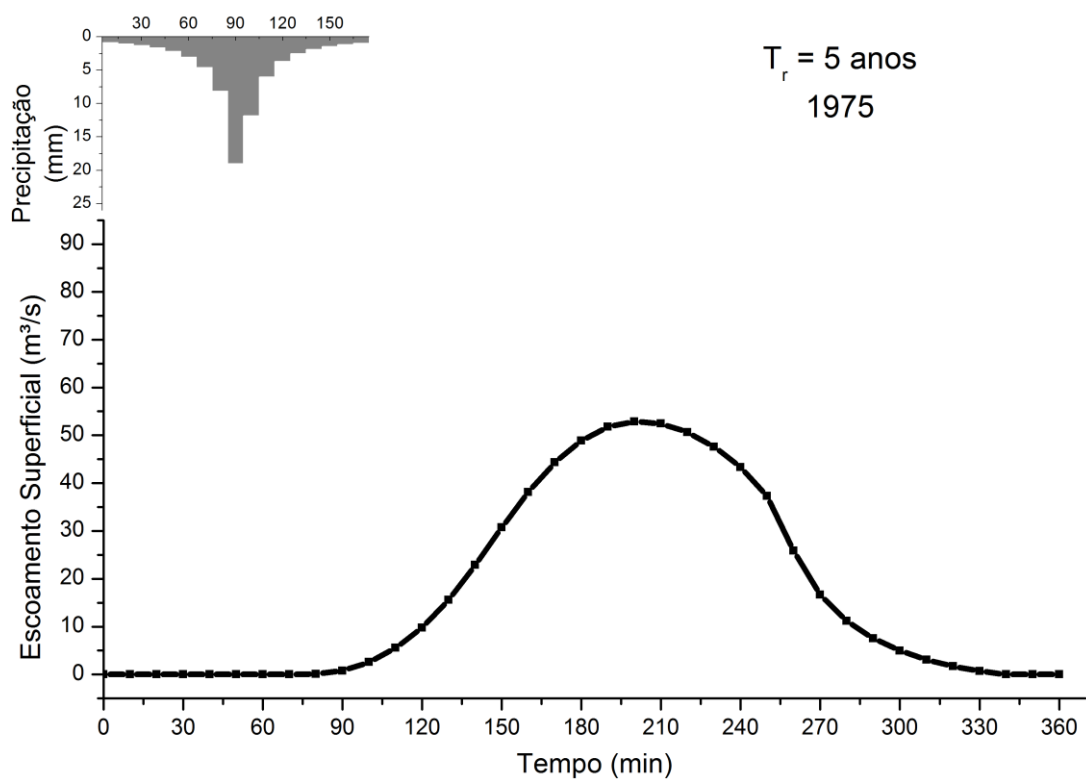
VILLELA, Swami M; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. 1ª ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

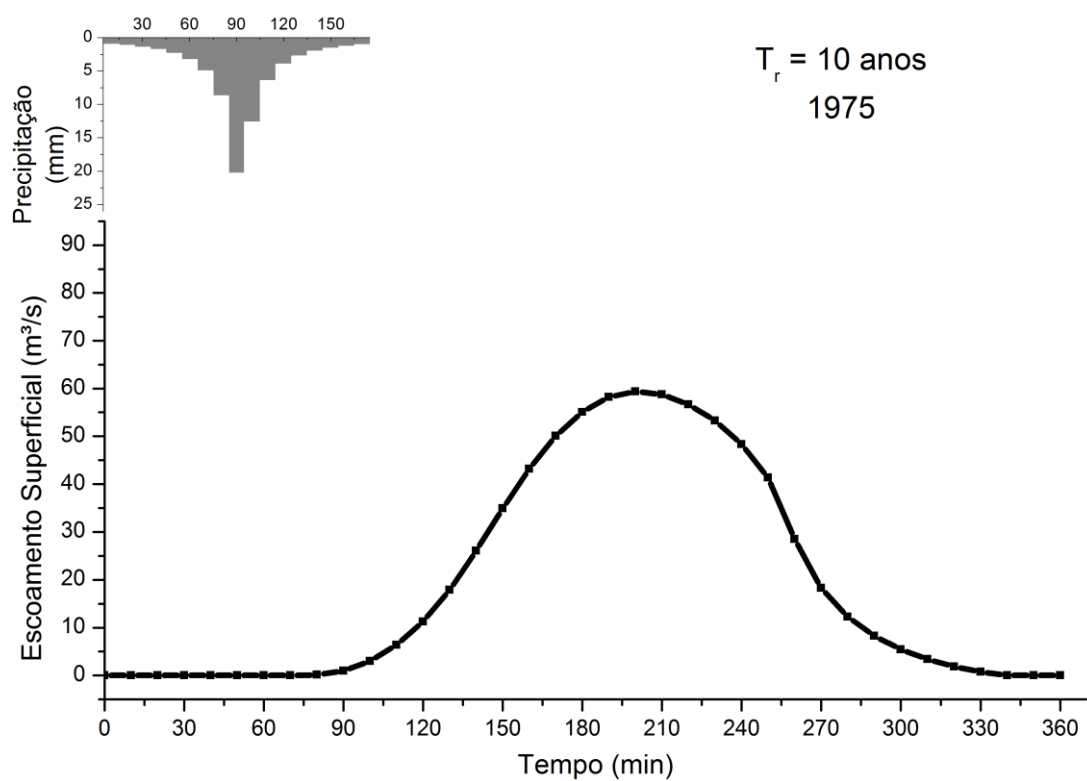
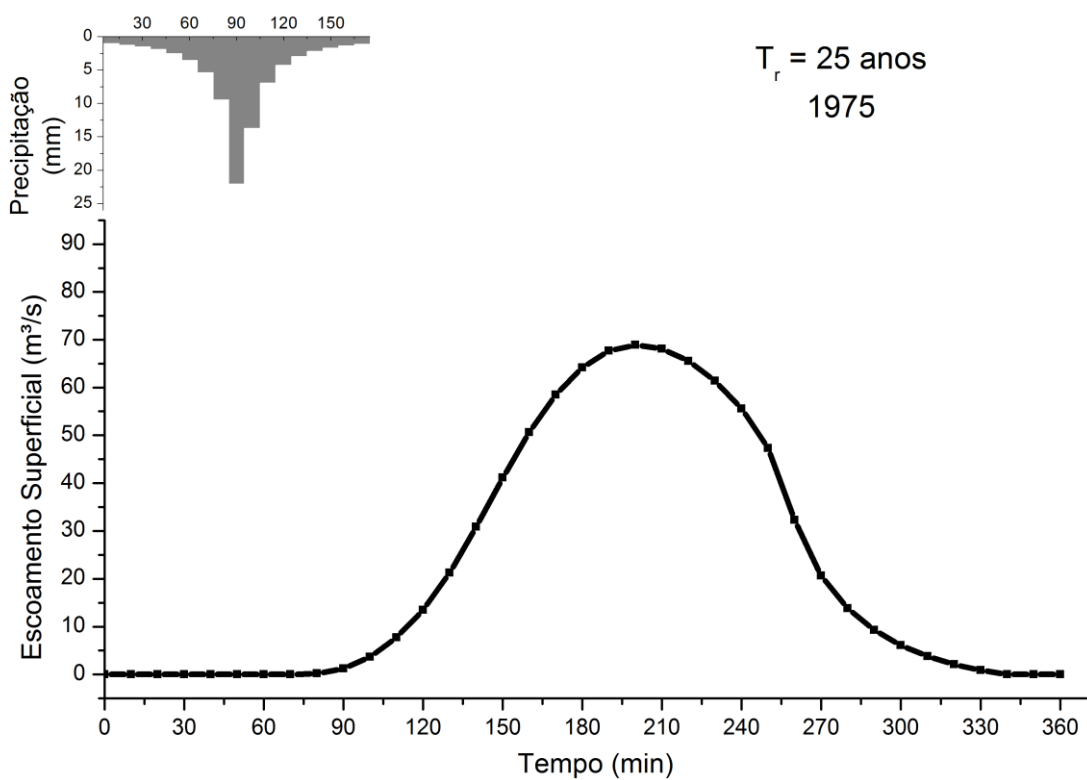
VIZINTIM, Mirian; ARCHELA, Rosely S.; BARROS, Omar N.F.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B. **Atlas Ambiental do Município de Londrina: Cursos e (Per) cursos das Aguas**. 2015. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/CURSODASAGUAS.htm>>. Acesso em: 10 set 2015.

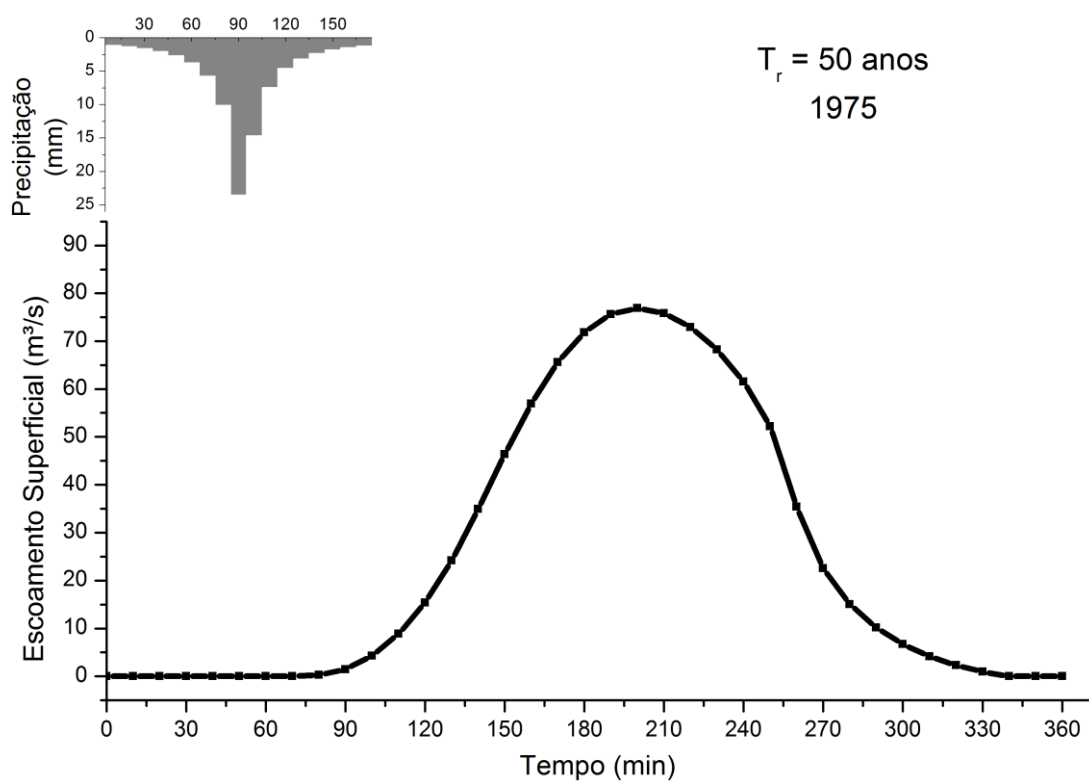
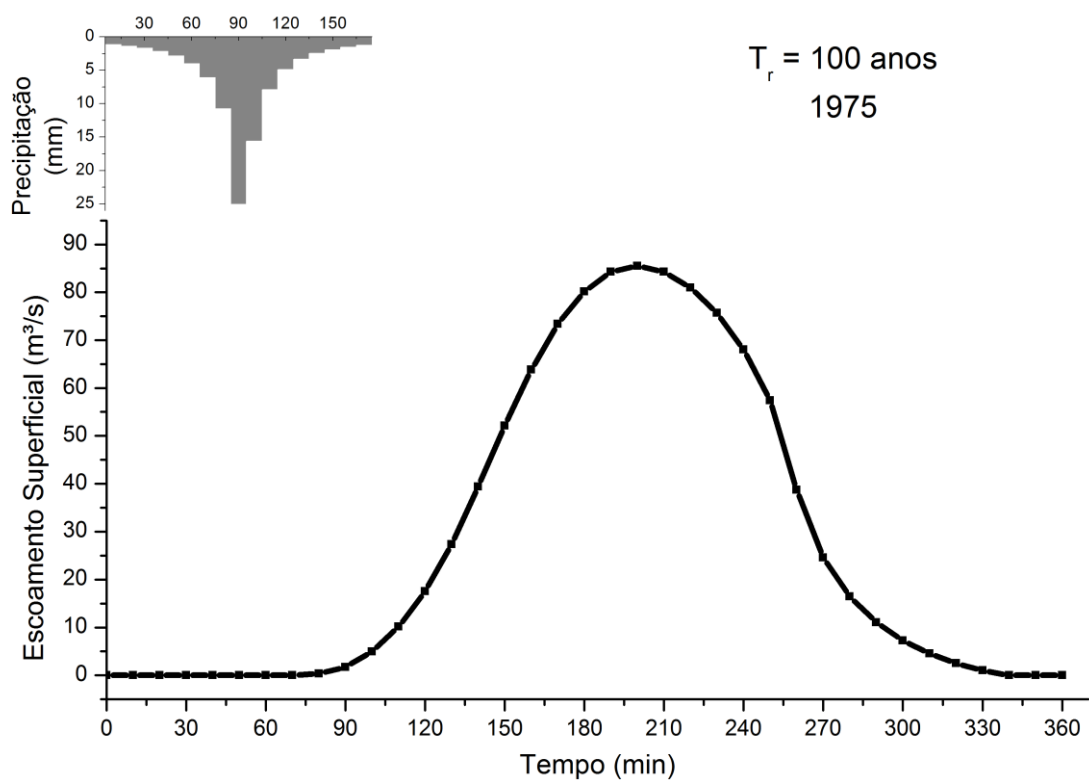
## ANEXO

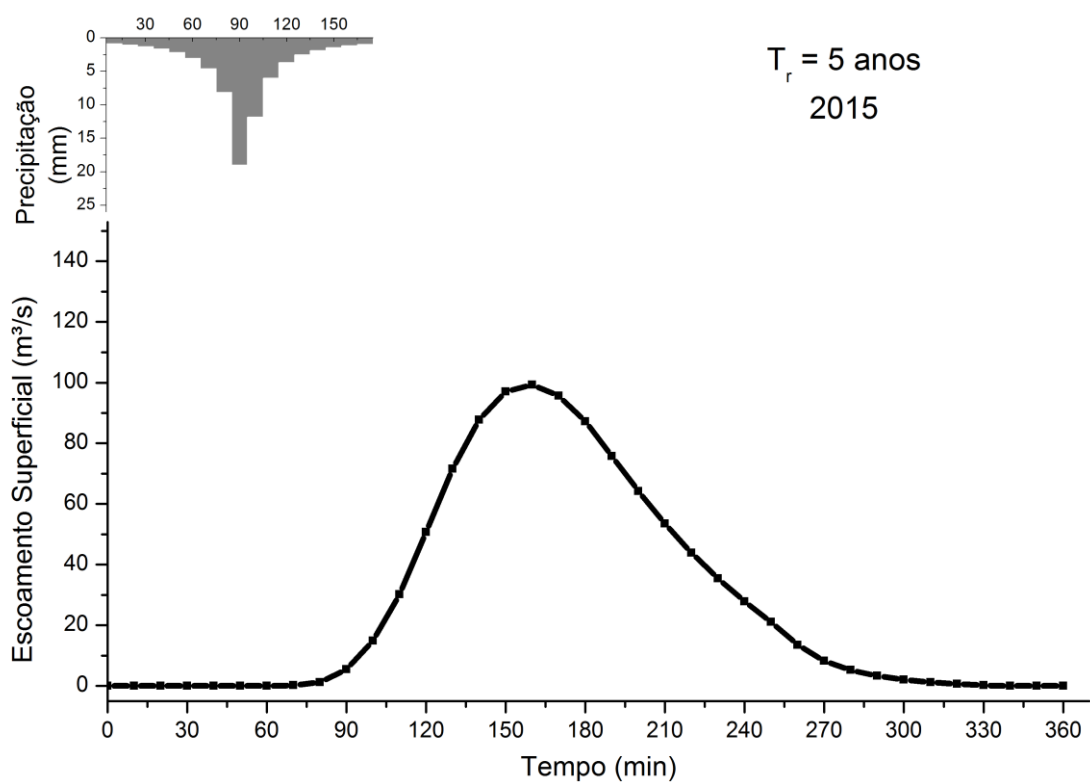
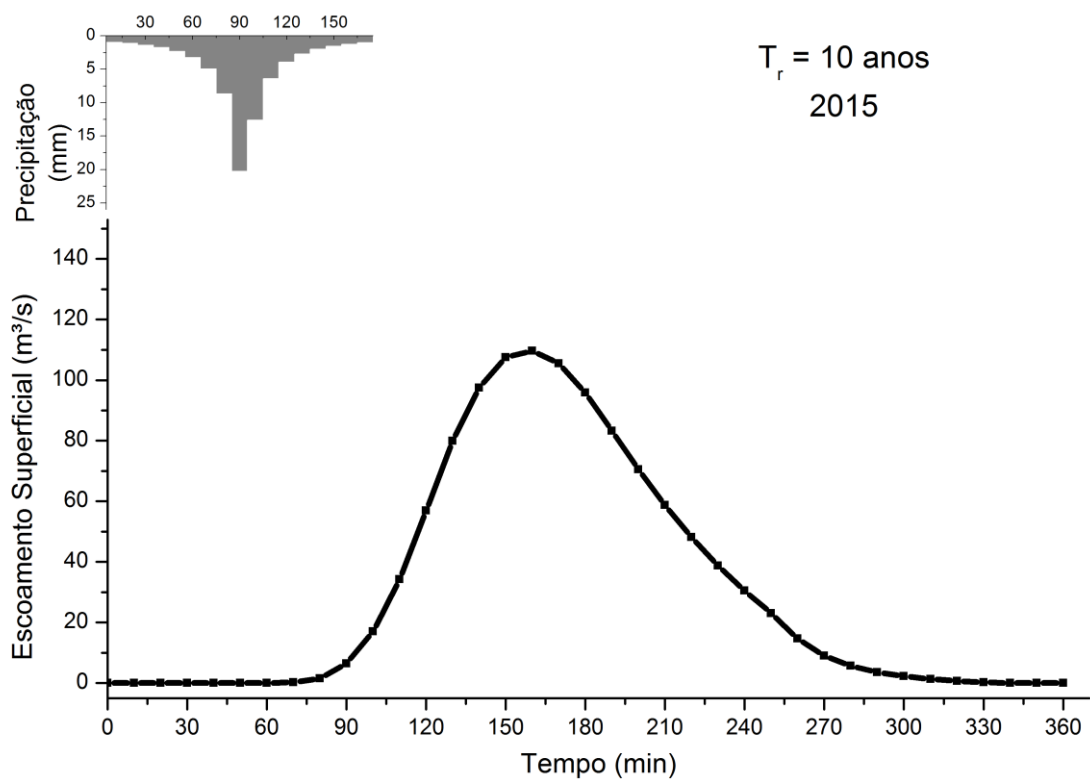
### Hietogramas e Hidrogramas

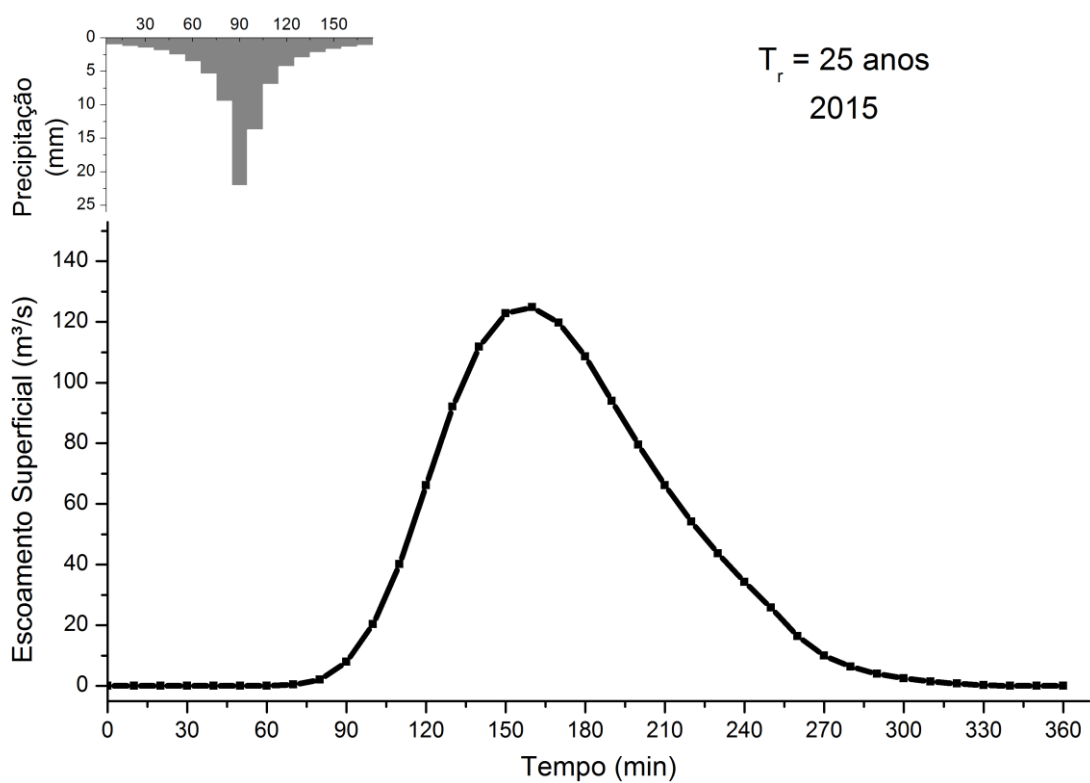
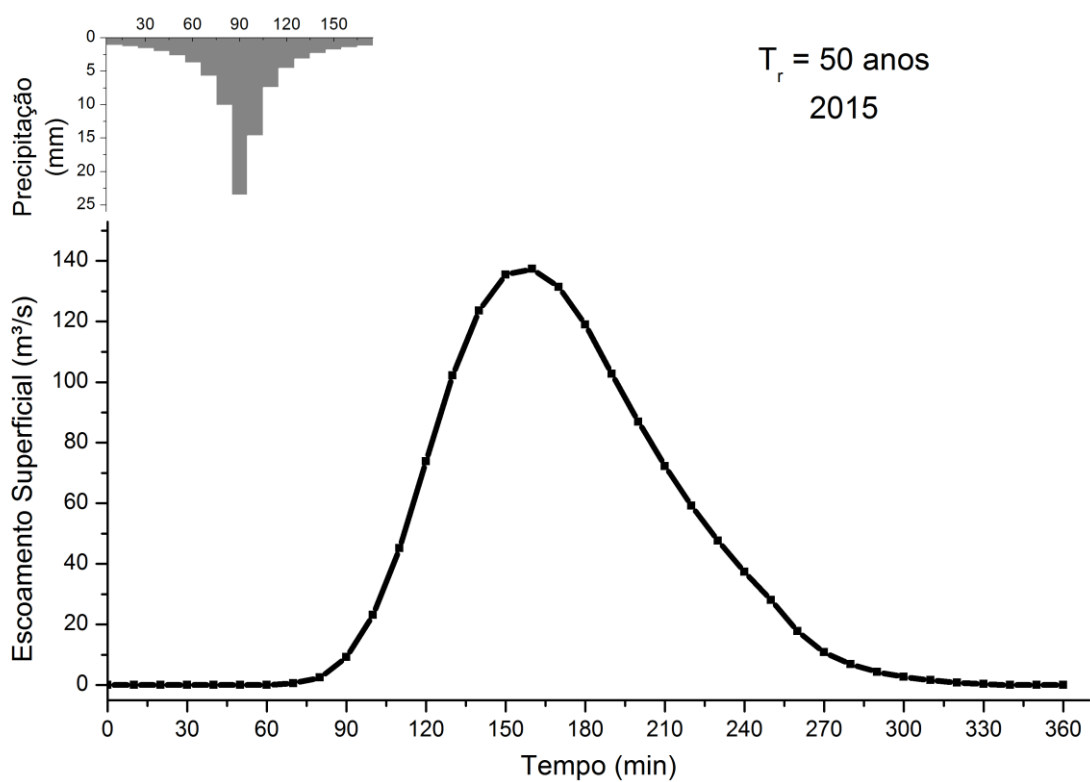
**Figura 21** - Hidrograma do ano de 1975, com  $T_r = 5$  anos.



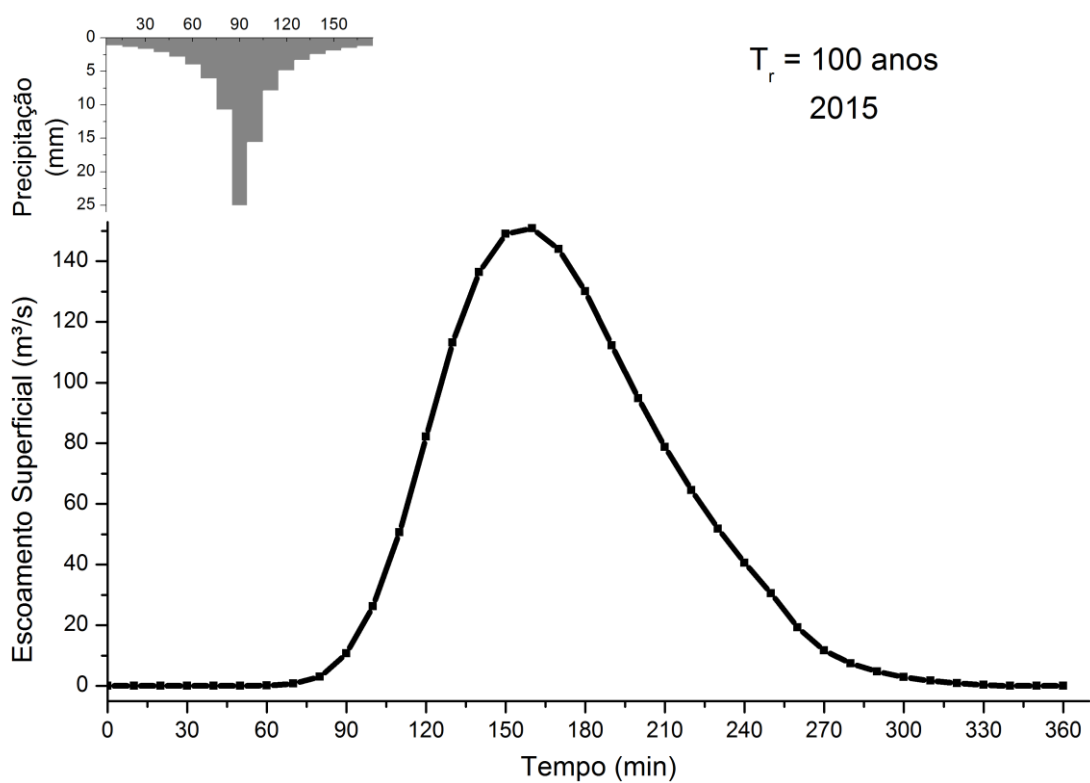
**Figura 22** - Hidrograma do ano de 1975, com  $T_r = 10$  anos.**Figura 23** - Hidrograma do ano de 1975, com  $T_r = 25$  anos.

**Figura 24** - Hidrograma do ano de 1975, com  $T_r = 50$  anos.**Figura 25** - Hidrograma do ano de 1975, com  $T_r = 100$  anos.

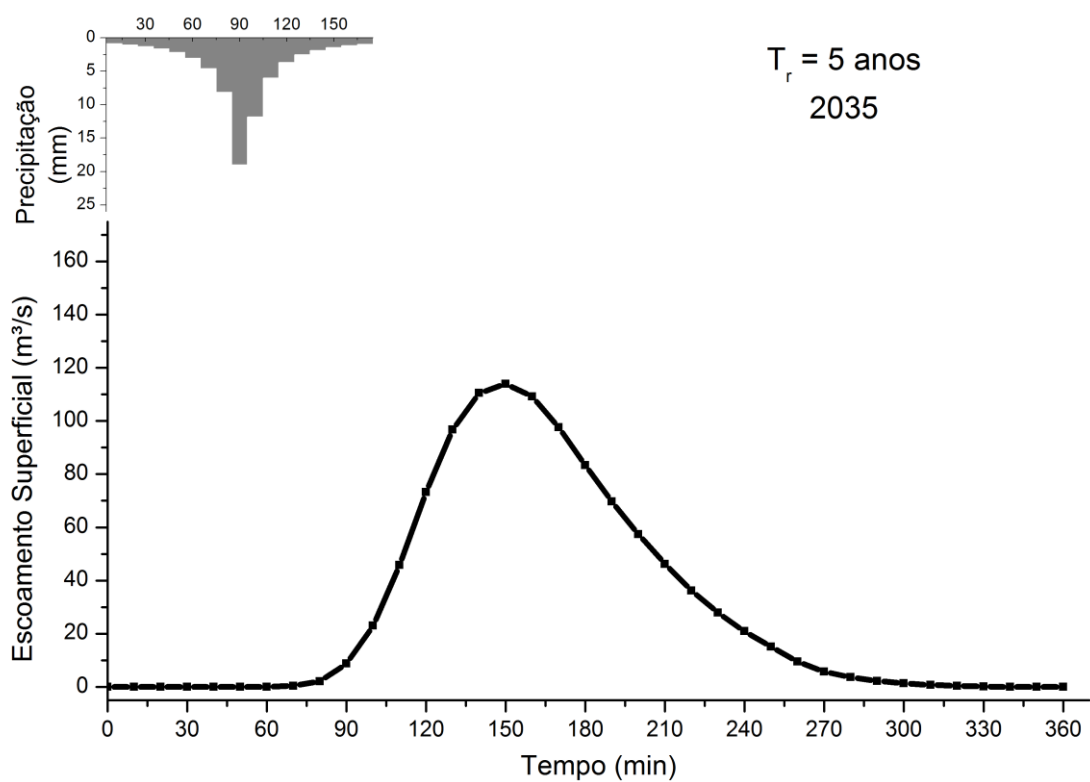
**Figura 26** - Hidrograma do ano de 2015, com  $T_r = 5$  anos.**Figura 27** - Hidrograma do ano de 2015, com  $T_r = 10$  anos.

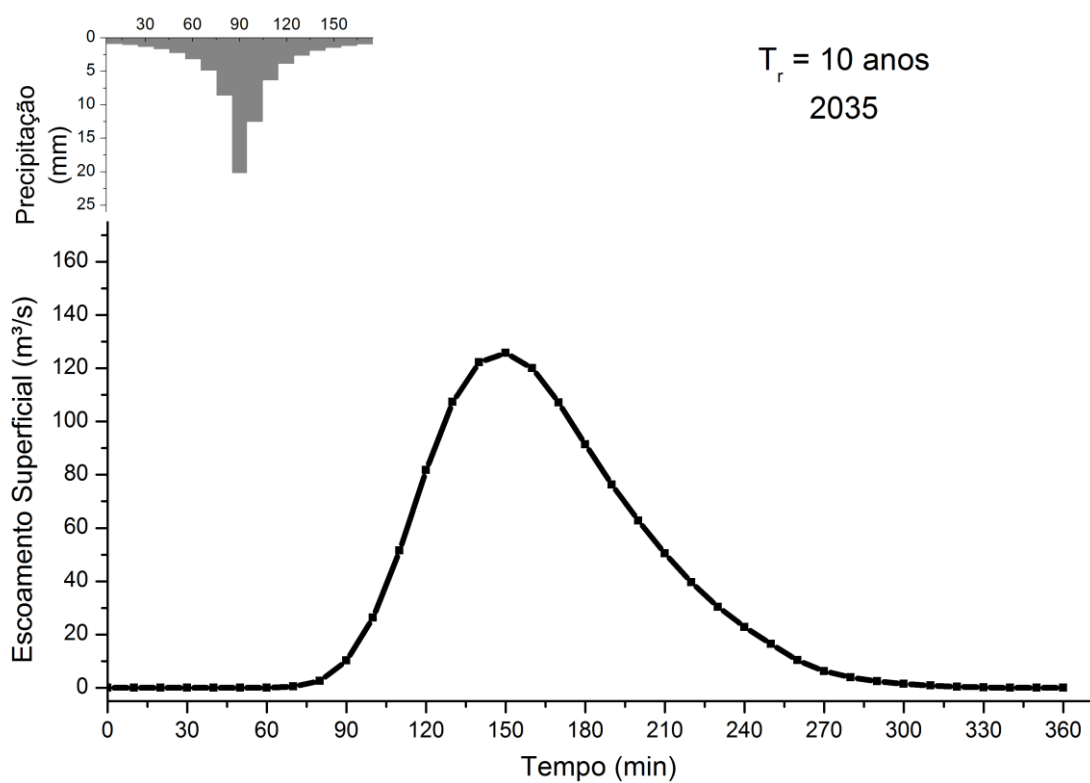
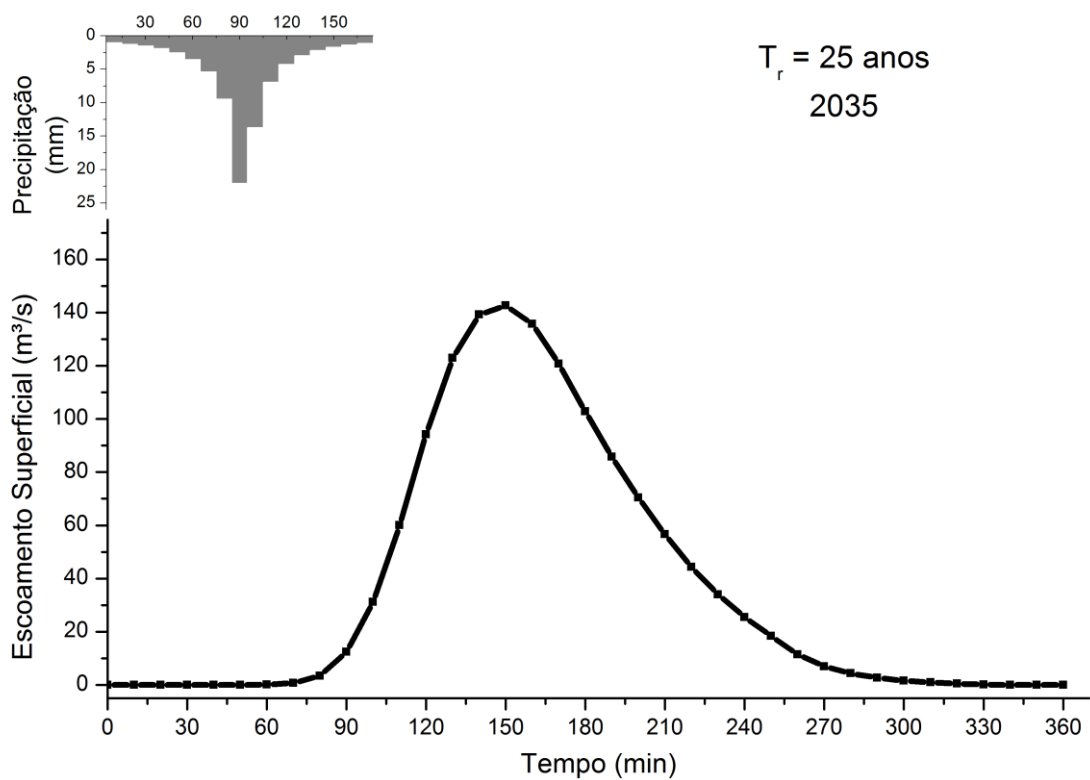
**Figura 28** - Hidrograma do ano de 2015, com  $T_r = 25$  anos.**Figura 29** - Hidrograma do ano de 2015, com  $T_r = 50$  anos.

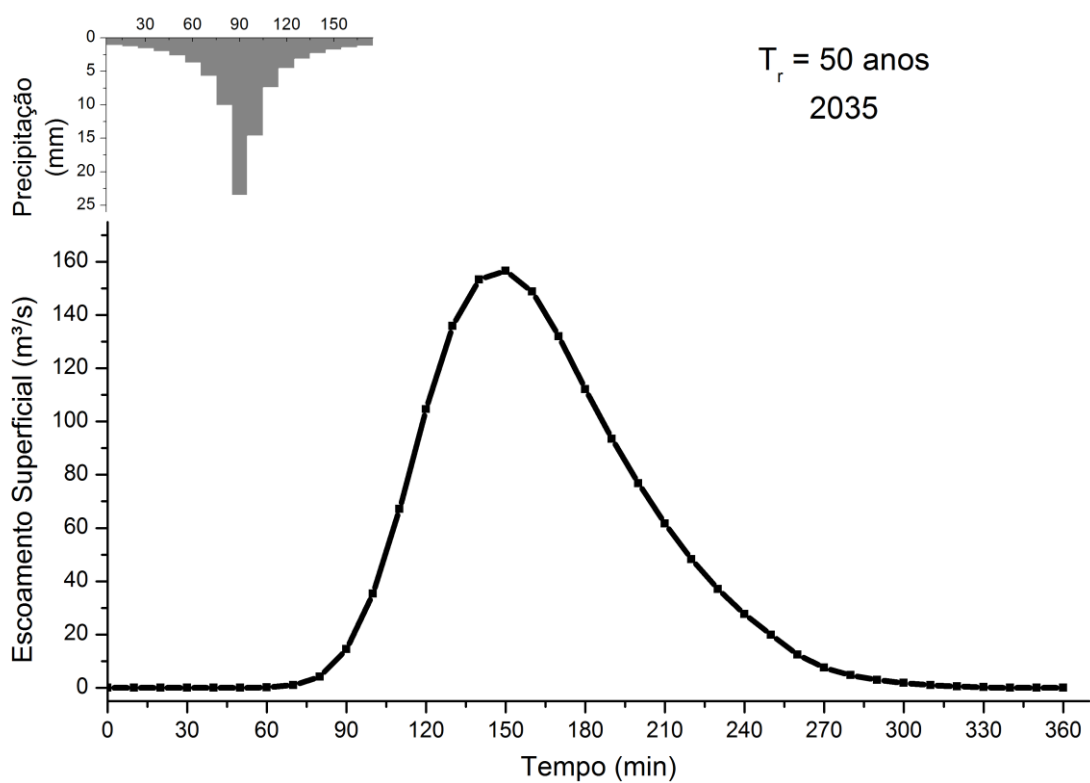
**Figura 30** - Hidrograma do ano de 2015, com  $T_r = 100$  anos.



**Figura 31** - Hidrograma do ano de 2035, com  $T_r = 5$  anos.



**Figura 32** - Hidrograma do ano de 2035, com  $T_r = 10$  anos.**Figura 33** - Hidrograma do ano de 2035, com  $T_r = 25$  anos.

**Figura 34** - Hidrograma do ano de 2035, com  $T_r = 50$  anos.**Figura 35** - Hidrograma do ano de 2035, com  $T_r = 100$  anos.