

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCAS MANCINI RAMOS

MODELOS CHUVA-VAZÃO PARA O RIBEIRÃO CAMBEZINHO EM LONDRINA-PR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA  
2013

LUCAS MANCINI RAMOS

MODELOS CHUVA-VAZÃO PARA O RIBEIRÃO CAMBEZINHO EM LONDRINA-PR

Trabalho de Conclusão de Curso, do  
Curso Superior de Engenharia Ambiental da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Ricardo Constanzi.

Co-orientador: Prof.<sup>a</sup> Ligia Flávia  
Antunes Batista.

LONDRINA

2013

## TERMO DE APROVAÇÃO

Modelos chuva-vazão para o Ribeirão Cambezinho em Londrina - PR

por

Lucas Mancini Ramos

Monografia apresentada no dia 18 de setembro de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado. (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

Prof. Dr. Edilaine Regina Pereira  
(UTFPR)

---

Prof. Dr Orlando  
(UTFPR)

---

Profa. Dr. Ricardo Constanzi  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Joseane Débora Peruço Theodoro  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

Primeiramente agradeço a Deus por me capacitar ao longo de toda a minha caminhada.

Reverencio o Professor Dr. Ricardo Constanzi pela amizade, dedicação, por todos os conhecimentos compartilhados, pela atenção, tempo e orientação deste trabalho e por meio dele, eu me reporto a toda a comunidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio incondicional.

Agradeço a professora Dr<sup>a</sup> Lígia Flávia Antunes Batista, que mesmo em véspera de sair de licença dispôs de seu tempo para dar orientações e auxiliar na construção desse trabalho.

Agradeço aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo. Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio. E por último, e nem por isso menos importante, agradeço a minha namorada pelo carinho, amor e compreensão.

## RESUMO

RAMOS, L. M. Modelos chuva-vazão para o ribeirão Cambezinho em Londrina – PR, 2013, p. 91. Trabalho de Conclusão de Curso para Graduação em Engenharia Ambiental, Faculdade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

O desenvolvimento urbano de uma cidade implica no aumento da impermeabilização do solo e conseqüentemente aumento no risco de enchente. O trabalho em questão visou estimar hidrogramas de cheia do Ribeirão Cambezinho localizado no município de Londrina-PR por modelos chuva-vazão com a adoção de cenário relativo ao processo de urbanização buscando determinar o risco de inundações. Para estimar os hidrogramas foram considerados os seguintes métodos: Método computacional, por meio de programa livre (PIHMgis) e métodos usuais simplificados (*Soil Conservation Service*, Snyder e Índice de infiltração  $\Phi$ ). A tecnologia SIG foi aplicada para a obtenção de parâmetros envolvidos nos métodos descritos acima. As vazões do projeto foram estimadas para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Os valores encontrados pela metodologia computacional foram considerados mais adequados aos cenários usados quando comparado às outras metodologias, pois se aproximam de valores adquiridos experimentalmente.

Palavras-chave: Curvas de chuva-vazão. *Soil Conservation Service*. Snyder. Índice de infiltração  $\Phi$ .

## ABSTRACT

RAMOS, L. M. Rainfall-runoff models for stream Cambezinho in Londrina – PR, 2013, p. 91. Trabalho de Conclusão de Curso para Graduação em Engenharia Ambiental, Faculdade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

The urban development of a city implies increasing soil sealing and consequently increase the risk of flooding. The objective of this paper is estimated flood hydrographs of stream Cambezinho located in Londrina-PR. These estimates were made for rainfall-runoff models with adoption scenario that regarding the urbanization process in order to determine the risk of flooding. To estimate the hydrograph were considered the following methods: computational method with free program (PIHMgis) and traditional methods (Soil Conservation Service, Snyder and infiltration with index  $\Phi$ ). GIS technology was applied to obtain the parameters involved in these methods. The flow of the project were estimated for return periods of 5, 10, 25, 50 and 100 years. The values found by computational methodology were considered more appropriate to the scenarios used when purchased with other methodologies, as approaching values obtained experimentally.

Keywords: rainfall-runoff curves. Soil Conservation Service. Snyder. Index infiltration  $\Phi$ .

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fator forma da bacia. ....	17
Figura 2 – Forma circular e esbelta da bacia. ....	18
Figura 3 – Demonstração do índice de conformação. ....	19
Figura 4– Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica antes e depois do processo de urbanização. ....	21
Figura 5 – Hidrograma Unitário SCS. ....	38
Figura 6 – Metodologia de construção do hidrograma unitário de Snyder. ....	40
Figura 7 – Fluxograma da primeira etapa. ....	42
Figura 8 – Localização do Ribeirão Cambezinho. ....	43
Figura 9 – Fluxograma segunda etapa. ....	48
Figura 10– Imagem de satélite Landsat5. ....	54
Figura 11– Bacias hidrográficas obtidas pelo ITCG. ....	55
Figura 12 - Bacia do Ribeirão Cambezinho recortada. ....	55
Figura 13 – Ribeirão Cambezinho Seção 1. ....	56
Figura 14 – Ribeirão Cambezinho Seção 2. ....	56
Figura 15– Mapa pedológico da bacia do Ribeirão Cambezinho. ....	58
Figura 16– Mapa geológico do Ribeirão Cambezinho. ....	59
Figura 17– Mapa de classificação do uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambezinho. ....	60
Figura 18– Topografia Ribeirão Cambezinho. ....	61
Figura 19– Sistema hídrico da Bacia. ....	62
Figura 20– Malha triangular Ribeirão Cambezinho. ....	66
Figura 21 – Calibração da curva com precipitação de 8 mm diário durante 5 dias. ....	71
Figura 22 – Calibração da curva com precipitação de 16 mm diárias durante 5 dias. ....	71
Figura 23 – Curva de chuva-vazão para o tempo de retorno de a) 5 anos; b) 10 anos; c) 25 anos; d) 50 anos; e) 100 anos. ....	72
Figura 24 – Cálculo da área da curva com tempo de retorno de 5 anos, por meio de triângulos. ....	73
Figura 25 – Hidrograma unitário SCS. ....	76
Figura 26 – Hidrograma unitário de Snyder. ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos dados fisiográficos da bacia do ribeirão Cambezinho. ....	57
Tabela 2 – índices de formato da bacia .....	57
Tabela 3 – Correlação entre o uso do solo e os valores de CN .....	60
Tabela 4 – Valores de tempo de concentração calculados .....	64
Tabela 5 – Intensidade da Precipitação (mm/h) e precipitação total (mm) .....	65
Tabela 6 – Composição do tipo de solo e geologia .....	67
Tabela 7 – Calculo da taxa de escoamento .....	74
Tabela 8 – Precipitação efetiva (mm) e vazão de pico (m <sup>3</sup> /s).....	75
Tabela 9 – Resultado das variáveis do hidrograma unitário de Snyder .....	77
Tabela 10 – Volume infiltrado.....	79
Tabela 11 – Índice de infiltração $\Phi$ .....	79
Tabela 12 – Comparação entre metodologias para cálculo de vazão máxima .....	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metodologias para o cálculo do tempo de concentração (tc). .....	34
Quadro 2 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas. ....	37
Quadro 3 – Variáveis do hidrograma unitário segundo Snyder .....	40
Quadro 4 – Variáveis para cálculo do tempo de concentração .....	63
Quadro 5 – Tipo de uso e ocupação do solo .....	68
Quadro 6 – Variáveis utilizadas.....	68

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	OBJETIVO .....	14
2.1	Objetivo geral .....	14
2.2	Objetivo específico .....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
3.1	Bacias hidrograficas .....	15
3.1.1	Caracterização física da bacia hidrográfica .....	16
3.2	Urbanização e Impermeabilização do solo. ....	19
3.3	Plano diretor municipal .....	22
3.4	Inundações urbanas .....	23
3.5	Drenagem urbana.....	23
3.6	Sistemas de Informações Geográficas e recursos hídricos.....	25
3.7	Processo de ocupação do município de Londrina e a bacia hidrográfica do ribeirão Cambezinho. ....	26
3.8	Pedologia do município de Londrina .....	28
3.9	Modelos matemáticos.....	30
3.9.1	Modelos hidrográficos .....	30
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	42
4.1	Primeira Etapa.....	42
4.1.1	Levantamento das características físicas da bacia.....	42
4.1.2	Digitalização e verificação da área utilizando SIG ( <i>SPRING</i> ).....	44
4.1.3	Levantamento de tipo de solos e geologia da bacia do ribeirão Cambezinho.....	45
4.1.4	Classificação do uso e ocupação do solo .....	46
4.1.5	Forma e declividade da bacia hidrográfica.....	47
4.1.6	Levantar sistema hídrico da bacia.....	47
4.2	segunda etapa.....	47
4.2.1	Estudo da chuva - vazão na Bacia Hidrográfica .....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
5.1	Levantamento das características físicas da bacia.....	53
5.2	Representação do tipo do solo e geologia .....	58
5.3	Classificação do uso e ocupação do solo e topografia .....	59

5.4	Sistema hídrico da bacia .....	62
5.5	Software escolhido para modelagem hidrográfica e sig .....	62
5.6	Determinação do tempo de concentração .....	63
5.7	Intensidade da Precipitação .....	64
5.8	Curvas chuva-vazão geradas pelo pihmgis .....	65
5.9	Curvas de chuva-vazão geradas pelo método do SCS .....	74
5.10	Curvas de chuva-vazão geradas pelo método de snyder .....	77
5.11	Índice de infiltração Phi ( $\Phi$ ) .....	78
5.12	Comparação entre metodologias .....	80
6	CONCLUSÃO .....	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos as cidades foram ampliadas, devido ao aumento da população, porém sua infra-estrutura não acompanhou esse crescimento. O crescimento inadequado causa diversos impactos negativos sobre os corpos de águas receptores do município, um deles é o aumento da área de terra impermeável, o que diminui a infiltração e causa o aumento do escoamento e da velocidade (BREZONIK, 2002).

Com a diminuição da infiltração da água da chuva, o aumento do escoamento e da velocidade, o risco de inundações nas cidades ao redor das bacias hidrográficas aumenta consideravelmente

Tucci (2009), afirma que a elaboração de plano diretor de drenagem urbana é a medida altamente recomendável e constitui estratégia essencial para diminuir riscos associados a inundações urbanas.

Outra medida é um planejamento adequado de drenagem urbana da água pluvial, que pode ser dimensionada em dois níveis: macrodrenagem e microdrenagem.

As inundações urbanas trazem grandes problemas à cidade como: perdas materiais, perdas de vida, impactos ambientais e problemas relacionados a epidemias.

O controle de inundações pode ser realizado por medidas estruturais, envolvendo obras de engenharia, ou não estruturais como zoneamento e sistemas de alerta. Um modelo hidrográfico subsidia a implantação e escolha de tais medidas.

A cidade de Londrina localizada no Norte do Paraná que foi planejada para uma população de 200.000 habitantes, em 2010 já possui uma população 25 vezes maior (IBGE, 2010). A urbanização dessa cidade foi realizada de forma desordenada, sem plano diretor nem planejamento adequado da drenagem da água pluvial.

O uso de modelos hidrológicos permite a simulação de eventos hidrográficos para melhor avaliação dos riscos de inundação associados à impermeabilização do solo.

Sendo assim, a estimativa de curvas de chuva-vazão do Ribeirão Cambezinho, que se encontra inserido em Londrina próximo a uma área de

crescente urbanização, tanto por metodologias computacionais utilizando o programa PIHMgis, como por metodologias usuais simplificadas (Método do SCS, Snyder e Índice  $\Phi$ ), foi importante para determinar os picos de cheia do Ribeirão e avaliar o risco de inundações nessa localidade.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo estimar o hidrograma de cheia do Ribeirão Cambezinho localizado no município de Londrina-PR por modelos chuva-vazão com a adoção de cenário relativo ao processo de urbanização.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O trabalho teve como objetivo específico:

- Comparar metodologias computacionais com metodologias usuais simplificadas.
- Analisar quais metodologias possui maior precisão.
- Comparar resultados de vazão máxima com valores obtidos no Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina (2008).
- Contribuir para uma melhor elaboração de diagnósticos municipais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 BACIAS HIDROGRAFICAS

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001).

Os principais componentes – solo, água, vegetação e fauna – coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais e àquelas de natureza antrópica, afetando os ecossistemas como um todo. Nesses compartimentos naturais – bacias hidrográficas –, os recursos hídricos constituem indicadores das condições dos ecossistemas, no que se refere aos efeitos do desequilíbrio das interações dos respectivos componentes (SOUZA et al., 2002).

Pelo caráter integrador, Guerra e Cunha (1996) citaram que as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Ainda de acordo com esses autores, em nações mais desenvolvidas a bacia hidrográfica também tem sido utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água garantindo sua qualidade e quantidade.

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. Para isso, tem sido comum a utilização de informações de relevo em formato analógico, como mapas e cartas, o que compromete a confiabilidade e a reprodução dos resultados devidos à carga de subjetividade inerente aos métodos manuais. 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 (GARBRUCH; MARTZ, 1999).

### 3.1.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A caracterização do meio físico da bacia hidrográfica, com o intuito de levantar todas as áreas críticas do ponto de vista da manutenção da água, é condição básica para um planejamento bem sucedido da conservação e produção de água. Segundo Lima (1986), a conservação da água não pode ser conseguida independentemente da conservação dos outros recursos naturais.

A forma da bacia influencia no escoamento superficial e conseqüentemente o hidrograma resultante de uma determinada chuva.

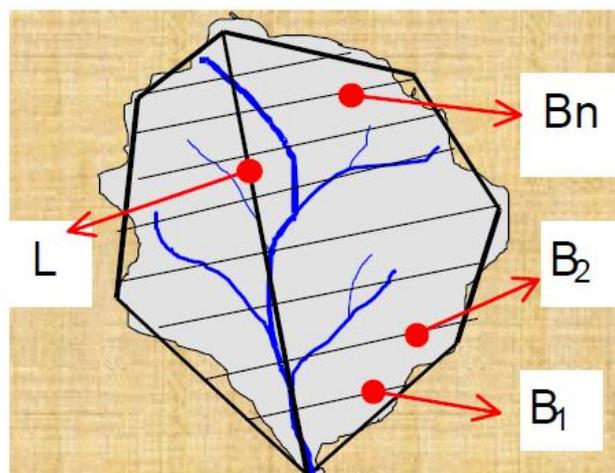
As grandes bacias em geral apresentam forma de leque ou de pêra, ao passo de que as pequenas bacias apresentam formas mais variadas possíveis em função da estrutura geológica dos terrenos.

Entre os parâmetros propostos para caracterizar a forma de uma bacia a área,, o perímetro, o fator forma, índice de compacidade, índice de conformação e declividade são os mais usuais (PORTO et al, 1999). Esse índices são utilizados para comparar bacias e para comporem parâmetros das equações empíricas de correlações entre as vazões e características físicas da bacia .

#### 3.1.1.1 FATOR FORMA

É expresso como sendo a razão entre a largura média da bacia e seu comprimento axial. O ponto axial é medido da saída da bacia até seu ponto mais remoto, seguindo as grandes curvas do rio principal (PORTO et al, 1999).

A largura média é obtida dividindo-se a área da bacia em faixas perpendiculares, onde o polígono formado pela união dos pontos extremos dessas perpendiculares se aproxime da forma da bacia real (Figura 1).



**Figura 1 – Fator forma da bacia.**  
**Fonte: Porto et al, 1999**

Sendo assim é representado pela seguinte equação:

$$F_F = \frac{B}{L} \quad (1)$$

Onde:

$B$  = largura média =  $\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i$

$L$  = comprimento da bacia

Em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo. Já em uma bacia elíptica, o escoamento será mais distribuído no tempo. Logo o fator forma pode assumir os seguintes valores (PORTO et al, 1999):

- 1,00 – 0,75: bacia com formato circular, maior tendência a enchente.
- 0,75 – 0,50: tendência mediana a enchente.
- < 0,50: bacia com formato elíptico, com uma menor tendência a enchente

### 3.1.1.2 ÍNDICE DE COMPACIDADE $K_C$

É definido como sendo a relação do perímetro da bacia e a circunferência do círculo da área igual á bacia (PORTO et al, 1999).

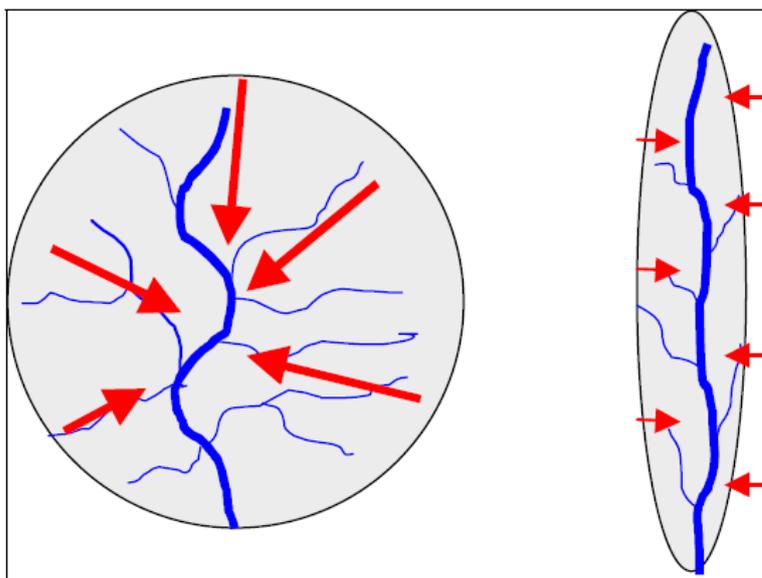
$$K_C = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde:

$P$  = Perímetro da bacia em km

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

Como o círculo é a figura geométrica plana que comporta uma dada área com o menor perímetro, esse índice nunca será menor do que 1. Bacias que se aproximam geograficamente de um círculo convergem o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do rio principal (Figura 2). Caso não existam outros fatores que interfiram, um menor valor desse índice indica maior potencialidade de produção de pico de enchentes elevado.

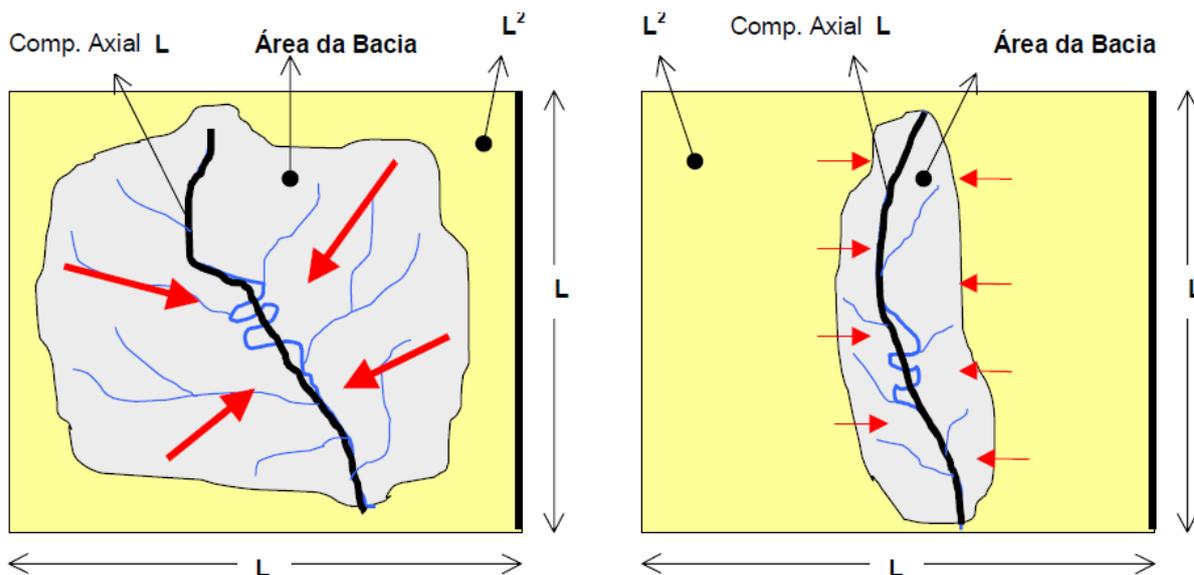


**Figura 2 – Forma circular e esbelta da bacia.**  
**Fonte: Porto et al, 1999**

### 3.1.1.3 ÍNDICE DE CONFORMAÇÃO $F_C$

O índice de conformação é a comparação entre a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento axial. Caso não existam outros fatores que interfiram, quanto mais perto de 1 o valor de  $F_C$ , isto é, quanto mais a forma da bacia se aproximar da forma do quadrado do seu comprimento axial, maior a potencialidade de produção de picos de cheias (Figura 3), pois convergirá todo o escoamento ao mesmo tempo para uma mesma região (PORTO et al, 1999).

$$F_C = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$



**Figura 3 – Demonstração do índice de conformação.**  
**Fonte: Porto et al, 1999**

#### 3.1.1.4 DECLIVIDADE DA BACIA

O conhecimento das classes de declividade da bacia hidrográfica é importante porque visa atender à legislação específica para o ordenamento do uso da terra. Além disso, a declividade tem relação importante com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo, etc. (LIMA, 1986).

#### 3.2 URBANIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO.

Com o rápido crescimento urbano, poucas foram as cidades que planejaram esse crescimento, fazendo com que a ocupação de seus solos fosse realizada de forma a não prejudicar o meio ambiente e conseqüentemente o próprio bem estar. Para Dozena (2001), o uso e a ocupação do solo, a qualidade de vida e a qualidade ambiental nas cidades estão diretamente associadas. Na cidade, essas relações são complexas, originando uma diferenciação espacial que intensifica os conflitos sociais.

O aumento da população associado à ampliação das cidades não foram acompanhados do crescimento adequado de toda infraestrutura da cidade (JUSTINO, 2011). Esse crescimento inadequado causa diversos impactos negativos

sobre os corpos de águas receptores do município, um deles é o aumento da área de terra impermeável, o que diminui a infiltração e causa o aumento do escoamento e da velocidade (BREZONIK, 2002).

Segundo Justino (2011) o ciclo hidrológico é dividido em oito fases básicas, sendo: a precipitação, a interceptação, a evaporação, a evapotranspiração, a infiltração, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo. Sendo que o escoamento superficial é o mais relevante em se tratando de dimensionamentos hidráulicos e prevenção de inundações.

Segundo Silva et al. (2005) o escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície terrestre, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação quanto pelas águas subterrâneas. Portanto as condições de escoamento sofrem alterações quando transformamos o solo, fazendo com que precipitações, mesmo em pequena intensidade, possam causar grandes inundações.

Os efeitos da vegetação podem ser enumerados da seguinte forma:

(a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; (b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; (c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; (d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Como podemos ver, a impermeabilização do solo está fortemente ligada com a capacidade de absorção da água pelo solo. Os asfaltos, calçadas e edificações formam uma espécie de capa sobre o solo impedindo a penetração da água.

A Figura 4 ilustra uma estimativa de mudança no balanço hídrico provocada pela urbanização:

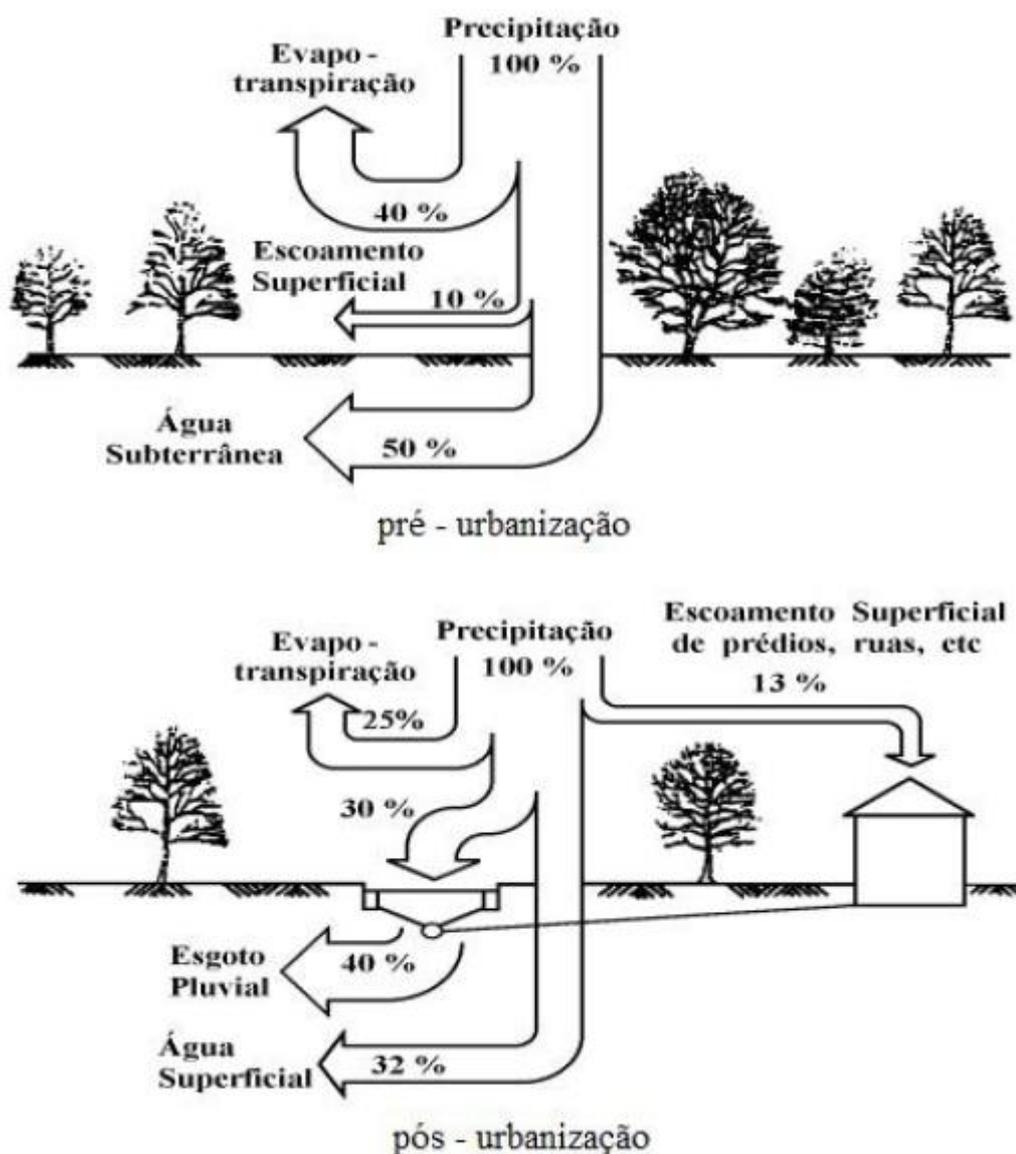


Figura 4– Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica antes e depois do processo de urbanização.

Fonte: Organisation for Economic Cooperation and Development. (TUCCI, 2009).

De acordo com Schueler (1994), o meio ambiente já é considerado desgastado se possuir área impermeável maior que 10%. Existe uma relação entre o aumento do escoamento superficial em bacias urbanas e sua porcentagem de impermeabilização, onde se observou que superfícies impermeabilizadas em 7, 20, 60 e 80% produziram, respectivamente, aumentos aproximados de 2,3, 6 e 8 vezes no volume de escoamento (TUCCI, 2009).

### 3.3 PLANO DIRETOR MUNICIPAL

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

Um plano diretor é originado a partir de diagnóstico da realidade física, social, econômica, política e administrativa da cidade, do município e de sua região, que contém um conjunto de propostas para o futuro desenvolvimento socioeconômico e espacial dos usos do solo urbano, das redes de infraestrutura e de elementos fundamentais da estrutura urbana definidas para curto, médio e longo prazo, e aprovadas por lei municipal (VILLAÇA, 1999).

O plano diretor deve ser elaborado para estudo da bacia visando solucionar problemas de espaço e tempo a fim de evitar medidas de caráter restrito que não desloquem e agravem as inundações em outros locais. Outro aspecto relevante nestes estudos é a necessidade de integração com a comunidade sobre a magnitude dos problemas e de soluções propostas (PORTO et al., 2009).

Sendo assim, sem um plano diretor adequado que evite a urbanização indisciplinada da bacia, a frequência das enchentes aumenta significativamente. Esse aumento de enchentes pode provocar uma desvalorização das propriedades e prejuízos periódicos (PORTO et al., 2009).

Porém, não são todas as cidades que conseguem implantar esse tipo de solução. Canholi (2005) afirma que na maioria das metrópoles, o crescimento das áreas urbanas processou-se de forma acelerada e somente em algumas a drenagem urbana foi considerada fator preponderante no planejamento da sua expansão. Diante desse cenário, o estudo e aplicações de novas soluções estruturais ganharam grande impulso nas últimas décadas.

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 (TUCCI, 2009).

### 3.4 INUNDAÇÕES URBANAS

Na antiguidade, segundo Caponera (1992), as comunidades se desenvolviam próximas à locais com adequado suprimento de água. A ocupação das áreas em torno de corpos hídricos trouxe importantes benefícios para a agricultura e comércio facilitado pelo transporte aquático. Porém, ao se instalarem nessas localidades, as civilizações acabaram sendo submetidas a inundações. Esse problema continua até os dias atuais e atinge principalmente países ditos “em desenvolvimento”.

Dessa forma, o mau planejamento das cidades, acabou por contribuir sobremaneira com o problema de inundações urbanas, pois as drenagens das cidades não foram consideradas significantes para o avanço da cidade, dentro do contexto do parcelamento do solo (CANHOLI, 2005).

As inundações assolam diversos países, sendo o desastre natural com o maior número de ocorrências do mundo inteiro. Segundo dados do Centro de Pesquisas de Epidemiologia dos Desastres, CRED (2012), órgão colaborativo da Organização Mundial da Saúde, as inundações representam 32% de todos os desastres naturais ocorridos no planeta de 1900 até 2011.

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.

### 3.5 DRENAGEM URBANA

O planejamento e gerenciamento de sistemas de drenagem urbana envolvem o equacionamento de um problema de alocação de espaços, pois a supressão de várzeas e a impermeabilização de solo implicam que a água anteriormente alocada nesses locais deverá ser realocada a jusante (SHEAFFER, 1982).

De forma geral, o gerenciamento de drenagem urbana nas cidades brasileiras é realizado pelas prefeituras municipais, prática essa comum no mundo todo. Porém, no Brasil não há integração de políticas referentes à drenagem com o planejamento urbano. Muitas vezes, os municípios não possuem suporte técnico

adequado e não há uma análise mais completa do conjunto da bacia hidrográfica (TUCCI, 2000; CANNHOLI, 2005).

Sendo assim, a fim de minimizar os impactos relacionados com inundações urbanas, os municípios necessitam então da adoção de medidas que são conhecidas popularmente como plano de drenagem urbana que Tucci (2009), enfatiza que drenagem urbana é o conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir o prejuízo causado por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

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).

O mesmo autor afirma que o sistema de drenagem urbana pode ser dimensionado em dois níveis principais: macrodrenagem e microdrenagem. A distinção das duas nem sempre é clara, mas podemos caracterizar como macrodrenagem os escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene. O termo microdrenagem aplica-se a áreas onde o escoamento natural não é bem definido e, portanto, acaba sendo determinada pelo solo. Sendo assim em uma área urbana a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado da rua.

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

A eficiência hidráulica do sistema de drenagem tem por objetivo retardar o escoamento, de forma a aumentar o tempo de concentração e diminuir as vazões máximas de retenção do reservatório e conter o run-off no local da precipitação, pela melhora das condições de infiltração (CANNHOLI, 2005).

Para se elaborar um projeto de drenagem urbana, é necessário anteriormente saber como está o grau de impermeabilização do solo referente à cidade a ser estudada. Segundo Mischita (1997), citado por Centeno et al. (2003), uma boa estimativa da taxa de permeabilidade do solo pode ser alcançada por meio da interpretação de fotografias aéreas restituídas. Na interpretação, as superfícies

impermeáveis como telhados, ruas e estacionamentos pavimentados têm sido indicador-chave para qualificar o uso do solo urbano (ARNOLD; GIBBONS, 1996).

### 3.6 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E RECURSOS HÍDRICOS

O emprego de geotecnologias para análise temporal de interferências dos processos urbanos em variáveis ambientais, alteradas em função do desmatamento da cobertura vegetal e ocupação desordenada do solo, contribui para a tomada de decisão nos níveis de planejamento e gestão ambiental urbana (GUTIERREZ et al., 2011).

O geoprocessamento, uma dessas geotecnologias, representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, através de tecnologias que envolvem a coleta e o tratamento de informações espaciais, buscando uma representação simplificada do mundo real e generalizando suas características e relações para um objetivo específico (CIRILO, 2001).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas computacionais que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), unindo a base espacial de referência (mapa) e as informações (banco de dados) em torno de objetivos geograficamente representados no mapa. Desta forma, o Sistema de Informação Geográfica é o sistema que por meio dele se processa atividades que envolvem o geoprocessamento para cada aplicação, isto é, para cada interpretação da realidade (RIBEIRO, 2006).

O mesmo autor ainda afirma que a necessidade de estimativas de áreas impermeáveis para os estudos que procuram relacionar a urbanização com impactos no sistema hidrológico vem trazendo um uso cada vez mais intenso do geoprocessamento, principalmente na aplicação dos sistemas de informações geográficas e no sensoriamento remoto.

Assim, as novas tecnologias de coleta e manuseio da informação espacial podem ser a resposta à gestão municipal, pois ajudam a subsidiar o processo de tomada de decisão com informações sobre o município. As geotecnologias permitem a criação de Sistemas de Informação Espaciais, ambiente de respostas a perguntas que envolvem a região como variável primordial (PEREIRA JUNIOR, 2004).

Freitas et al. (2007) destacam o avanço tecnológico das imagens e os benefícios que os sensores de alta resolução trouxeram na acurácia dos resultados. Os benefícios proporcionaram diversos estudos em áreas urbanas, destacando-se a permeabilidade do solo. Por meio do conhecimento das áreas impermeáveis pode-se elaborar medidas a fim de prevenir o aumento do pico de escoamento e, conseqüentemente, a frequência das inundações, entre outros fatores.

### 3.7 PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO MUNICÍPIO DE LONDRINA E A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBEZINHO.

A ocupação da cidade de Londrina teve início nos anos de 1904 e 1908, realizada por funcionários da Companhia de Terras do Norte do Paraná (CNTP) que faziam parte de um plano de colonização realizado por empresas privadas no Brasil (VASCONCELOS, 2009).

O local inicial definido para a construção da sede da futura cidade de Londrina foi o “espigão” – pico mais alto da área -, a partir do qual nenhum ponto periférico, dentro do traçado, atingiria qualquer nascente ou curso de água. Nas glebas rurais, ao redor do centro da cidade, foi realizado um loteamento de pequenas chácaras para abastecer de alimentos a população (VASCONCELOS, 2009).

Porém normalmente na construção das futuras cidades as frentes pioneiras têm por característica a destruição sistemática da natureza, com a derrubada da mata nativa, para a massiva exploração agrícola. (SHIMBA, 1999).

No início dos anos 30, a exuberante floresta sucumbe ao machado dos primeiros homens que ali se instalaram, dando lugar as clareiras para o campo cultivável e para as primeiras moradias (VASCONCELOS, 2009).

O mesmo autor afirma que o plano inicial da cidade de Londrina previa ruas e avenidas muito maiores, porém foram reduzidas por ordem dos acionistas ingleses, por considerarem exageradas e dispendiosas.

E ainda diz que desde o início os administradores da cidade procuravam aplicar estratégias legais com embasamento higienista visando o bem estar dos moradores e da paisagem, como por exemplo: a retirada de porcos dos quintais; limpeza e varrição de ruas, passeios e frentes das casas pelos respectivos

moradores; manter limpos (livre de lixo) e roçados todos os terrenos e datas; eliminar as bananeiras por serem focos de mosquitos.

Os administradores da cidade sempre procuravam aplicar estratégias a fim de melhorar a convivência e o bem estar dos moradores dessa nova cidade. Com o passar dos anos, visando um desenvolvimento acelerado, algumas dessas preocupações foram deixadas de lado e com isso nos dias atuais alguns problemas podem ser observados.

Um exemplo desses problemas está relacionado com a ocupação da cidade. Londrina foi inicialmente planejada para abrigar cerca de 20.000 habitantes, segundo o Plano Municipal de Saneamento de Londrina-PR (2008), hoje sua população é cerca de 25 vezes maior do que a planejada, demonstrando uma preocupação principalmente com relação à ocupação do solo.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento de Londrina-PR (2008), o município está totalmente inserido na bacia do rio Tibaji, importante afluente do rio Paranapanema.

Existem 16 sub-bacias principias, com seu curso de maior ordem correndo de oeste para leste, desaguando no rio Tibaji. Dentre essas sub-bacias, podemos citar a bacia do ribeirão Cambezinho que se encontra em uma região com grande aumento de urbanização.

Próximo ao ribeirão Cambezinho, ocorre um elevado crescimento urbano, onde se observa um novo bairro localizado a Sudoeste da cidade de Londrina, conhecido como Gleba Palhano. Segundo Machado (2005), esse bairro encontra-se deficiente em cobertura vegetal com a maioria do solo impermeabilizado.

Até pouco tempo esse bairro era ocupado quase exclusivamente por chácaras, sítios e propriedades rurais de maior tamanho. É nessa porção de espaço que recentemente vem sendo construídos edifícios residenciais verticais e condomínios horizontais. A ocupação dessa localidade pode ser dividida em três etapas

As ocupações das terras da gleba Palhano antecederam a fundação da cidade de Londrina onde as terras foram demarcadas e arbitradas por Mábio Palhano antes da chegada da Companhia de Terras do Norte do Paraná para fazer o levantamento da região (PAULA, 2006).

Após a morte de Mábio, inicia-se o segundo momento, quando ele deixa para seu herdeiro 750 alqueires da fazenda que se estende de um ponto do distrito do

Espírito Santo até a margem direita do ribeirão Cambezinho (Lago Igapó II). Tanto a atual região da Universidade Estadual de Londrina, como o Catuaí Center Shopping, pertencia originalmente a Gleba Palhano. Nesse momento ocorreu o parcelamento e loteamentos em chácaras (PAULA, 2006).

A Fazenda Palhano, de propriedade de Mábio Gonçalves Palhano, foi subdividida pela Lei Municipal n.1.794, de 2 de março de 1971, constituindo subdivisões que permaneceram sem outros parcelamentos em lotes e sem edificações até 1992, quando a partir de então, se tem a aprovação de novos parcelamentos em loteamentos. Em suas subdivisões constituíram-se a Gleba Palhano, Cafezal e Ribeirão Esperança (RIBEIRO, 2006).

Até 1990 a Gleba Palhano era predominantemente ocupada por chácaras e sítios e somente após a transposição da Avenida Maringá sobre o Lago Igapó, garantindo acesso a Avenida Madre Leônia Milito, é que a gleba passou a ser alvo de interesse de construção de edifício. Sendo essa a terceira fase da ocupação dessa localidade. A duplicação da Avenida Madre Leônia Milito, a fim de se ter acesso ao shopping, também auxiliou nessa fase. (Paula, 2006)

A gleba continua sua expansão em níveis acelerados nos dias atuais sendo que a impermeabilização do solo na localidade, associada com a topografia acidentada da região, pode fazer com que haja um aumento no escoamento superficial. Esse fator relacionado com o fato da região ser próxima ao Ribeirão Cambezinho pode ocasionar frequentes inundações no bairro.

### 3.8 PEDOLOGIA DO MUNICÍPIO DE LONDRINA

Segundo o Plano Municipal de Saneamento de Londrina – PR (2008) observou-se a presença de seis grupos de solo no município: Gleissolos Háplicos; Latossolos Vermelhos distroféricos; Latossolos Vermelhos Eutroféricos; Neossolos Litólicos Eutróficos; Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e Nitossolos Vermelhos distroféricos.

O Gleissolo compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125 cm desde que imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou precedido por horizonte B incipiente, B textural ou horizonte C com presença de mosqueados

abundantes com cores de redução. Esse tipo de solo apresenta uma má drenagem da água. Em Londrina o grupo existente é o Gleissolo Háplico, estes solos ocupam apenas 0,07% do território, situados no extremo sul do município (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE LONDRINA – PR, 2008).

O Latossolo Vermelho compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte Blatossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto H hístico. Esse, porém é um solo com uma drenagem boa. Em Londrina existem dois grupos de Latossolos Vermelhos, os distroféricos, que ocupam 9,26 % do território e aparecem na região sul do município e na sede urbana e os eutroféricos, ocupando 12,37 % do município e estão espalhados por todo o território (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE LONDRINA – PR, 2008).

Já os Neossolos são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atenuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, de característica do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos. O solo apresenta uma boa drenagem. Em Londrina aparecem os Neossolos Litólicos eutróficos, que representam 22,42 % do território, distribuídos em manchas pela parte central do município (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE LONDRINA – PR, 2008).

O Nitossolos compreende solos constituídos por material mineral com horizonte B nítrico (reluzente) de argila de atividade baixa, textura argilosa ou muito argilosa, estrutura em blocos subangulares, abgulares ou prismática moderada ou forte, com superfície dos agregados reluzente, relacionada à cerosidade e/ou superfícies de compressão. Devido à elevada porosidade possui grande capacidade de drenagem. No município de Londrina aparecem dois tipos de Nitossolos: Nitossolos Vermelhos eutroféricos, ocupam 54,26 % do território e aparecem em todo o município; Nitossolos Vermelhos distroféricos, representam 1,62 % do município e estão situados na porção sul de Londrina (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE LONDRINA – PR, 2008).

Um fato relevante, em se tratando de escoamento superficial, é a pedologia do município. Dependendo do tipo de solo que compõe a bacia analisada, haverá uma maior ou menor taxa de infiltração.

### 3.9 MODELOS MATEMÁTICOS

Para Christofolletti (1999), um modelo é definido com uma representação simplificada do mundo real ou de algum de seus aspectos, de modo que seja possível reconstruir a realidade e prever comportamentos, transformações e evoluções.

Desta forma, o mesmo autor, afirma que, os modelos funcionam como uma ponte entre a observação e as proposições teóricas, devendo ser construído com objetivos claros, delimitando aquilo que podem prever.

Odum (1988) afirma que muitas vezes um número relativamente pequeno de variáveis é suficiente para representar sistemas naturais complexos, pois, frequentemente, apenas alguns “fatores chaves” controlam grande parte dos processos ocorridos. Deste modo não se pretende que os modelos sejam representações fies do mundo real, mas sim, que seja simplificações reveladoras dos processos principais, necessários a predição do comportamento do sistema.

Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender os impactos das mudanças do uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas (RENNÓ, 2003).

#### 3.9.1 MODELOS HIDROGRÁFICOS

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou sub-superfície terrestre. Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, biológica e ecológica, pois a forma de transporte de materiais pela água pode influenciar as atividades biológicas. Além disso, a hidrologia está estreitamente relacionada às condições climáticas e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados, sendo que, na prática, um estreito acoplamento torna-se bastante difícil, uma vez que modelos atmosféricos trabalham com resoluções

espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica (MAIDMENT, 1993).

Rennó (2003) afirma que a bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam numa única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas.

Muitos modelos podem ser encontrados na literatura. Em geral, devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, o movimento da água no solo causada pela infiltração, percolação, entrada e saída de água subterrânea, e o escoamento superficial, sub-superficial e nos canais de escoamento. Os modelos procuram simular a trajetória da água desde sua precipitação até a saída do sistema (RENNÓ, 2003).

A forma mais comum de tratar uma bacia hidrográfica é considerá-la um sistema agregado com propriedades espacialmente homogêneas, desprezando-se a variabilidade espacial natural da bacia e as relações existentes entre seus componentes. Modelos deste tipo são denominados pontuais, pelo fato de suas feições espaciais serem representadas com dimensão zero (RENNÓ, 2003).

Os modelos hidrológicos podem ser obtidos por métodos computacionais ou por métodos usuais simples como o modelo SCS Curve Number e o Índice de infiltração  $\phi$ .

#### 3.9.1.1 O MODELO SCS CURVE NUMBER

Um dos modelos mais utilizados em estudos e projetos é o método SCS (Soil Conservation Service, atual National Resources Conservation Service), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos em 1976. Esse método consiste na estimativa da precipitação efetiva (precipitação que gera escoamento superficial) e na transformação da chuva em vazão.

A equação do escoamento utilizada no método foi desenvolvida por Victor Mockus e outros por volta de 1947 (SCS, 1973). Foi concebida, sobretudo, para utilização em pequenas bacias, através de dados de bacias experimentais com

vários tipos e uso do solo e técnicas de plantio. Como a equação foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de um dia ou menos.

A determinação do escoamento superficial direto ( $Q$ ) pode ser feita através da precipitação efetiva que é a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial.

Para se obter a precipitação efetiva ( $Pe$ ) é necessário subtrair do total precipitado os volumes evaporados, os volumes retidos na depressão e os volumes infiltrados.

Kohler e Richards (1992) estipularam que a relação entre a precipitação efetiva e a precipitação total, em uma cheia, obedece a seguinte expressão:

$$\frac{d}{S^*} = \frac{Q}{P} \quad (4)$$

Essa relação tem o seguinte significado:

$$\frac{\text{Volume infiltrado}}{\text{Capacidade máxima}} = \frac{\text{Precipitação efetiva}}{\text{Precipitação total}} \quad (5)$$

Substituindo na equação 5 a variável  $d = P - Q$ , obtemos:

$$Q = \frac{P^2}{P+S^*} \quad (6)$$

Introduzindo as perdas iniciais na equação anterior resulta em:

$$\frac{P-Q-I_a}{S-I_a} = \frac{Q}{P} \quad (7)$$

Isolando o valor de precipitação efetiva que será equivalente ao escoamento superficial obtemos a seguinte equação:

$$Pe = \frac{(P-I_a)^2}{(P+0,8.S)} \quad (8)$$

Na qual:

$Pe$  = escoamento superficial direto (mm);

$P$  = precipitação total (mm);

$S$  = armazenamento potencial máximo do solo (mm);

$I_a$  = perdas iniciais (mm).

Para que fosse possível gerar hidrogramas, e posteriormente avaliar os efeitos causados pelas suas vazões de pico, foi necessário o cálculo de chuvas de projeto. Esse termo refere-se a precipitações utilizadas nas simulações hidrológicas. Nesse cálculo, foi utilizada a curva IDF (intensidade – duração - frequência) proposta pelo Plano Municipal De Saneamento de Londrina-Pr (2008) para o município de Londrina. Ela relaciona a chuva em questão com sua duração e o tempo de retorno, ou seja, o período em que o evento é igualado ou superado. Tal curva pode ser descrita pela equação a seguir:

$$I = \frac{3132,56.Tr^{0,093}}{(td+30)^{0,939}} \quad (9)$$

Onde:

I = intensidade da precipitação (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos);

td = tempo de duração da tormenta (min).

A intensidade de precipitação descrita acima é para um tempo de uma hora. Se multiplicarmos a intensidade de precipitação com o tempo de tormenta, se obtêm a precipitação total na bacia, valor que será utilizado no cálculo da precipitação efetiva.

$$P = I . td \quad (10)$$

Onde:

P= precipitação total (mm);

I = intensidade da precipitação (mm/h);

td = tempo de tormenta (h).

Adotando que o valor do tempo de tormenta (td) muitas vezes pode ser igualado ao valor do tempo de concentração (tc). Uma grande gama de metodologias para o cálculo do tempo de concentração (tc) será demonstrada posteriormente.

De acordo com Villela e Matos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção. Franco (2004) e Pinto et al. (1976) descrevem o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica como correspondente à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção em estudo.

Quadro 1 – Metodologias para o cálculo do tempo de concentração (tc).

Metodologia	Equação	Variáveis	Observações	Referência
Riverside Contry	$tc = K \cdot \left( \frac{0,0053 \cdot L \cdot L_{CA}}{\sqrt{I}} \right)^{0,38}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (km), $L_{CA}$ =comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km) I=declividade (m/m) K=constante	Área de drenagem entre 5 e 1600 km <sup>2</sup>	DRENURBS, 2003
Arnell	$tc = 2,4 \cdot 10^{-4} \left( \frac{L}{I^{0,5}} \right)^{0,7}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (m), I = declividade (m/km)	Bacias com área de drenagem de 0,2 a 50 km <sup>2</sup>	Franco, 2004
Ven Te Chow	$tc = 25,2 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64}$	tc=tempo de concentração (min), L=comprimento do talvegue (km), I = declividade (%)	Área de drenagem superior a 45 km <sup>2</sup>	DNIT, 2005
Picking	$tc = 5,3 \cdot \left( \frac{L^2}{I} \right)^{1/3}$	tc=tempo de concentração (min), L=comprimento do talvegue (km), I=declividade (m/m)	-	Costa e Lança, 2001
Giandotti	$tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Hm}}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (km), A = área de drenagem (km <sup>2</sup> ) Hm = altitude média do talvegue (m)	Pequenas bacias agrícolas	DNIT, 2005
Pasini	$tc = 0,108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{1/3}}{I^{0,5}}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (km), A = área de drenagem (km <sup>2</sup> ) I=declividade (m/m)	Pequenas bacias agrícolas	DNIT, 2005
DNOS	$tc = 10 \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{K \cdot I^{0,4}}$	tc=tempo de concentração (min), A =Área de drenagem (ha) L=comprimento do talvegue (m), K=parâmetro de característica do terreno I =declividade (%)		DNIT, 2005
Temez	$tc = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{I^{0,25}} \right)^{0,76}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (km), I=declividade (m/m)	Área até 3000 km <sup>2</sup>	DNIT, 2005
Ventura	$tc = 240 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}}$	tc=tempo de concentração (min), L=comprimento do talvegue (km), A = área de drenagem (km <sup>2</sup> ) $\Delta H$ =diferença entre cotas	Bacia de qualquer tamanho	Mata-Lima et al, 1984
IPH II	$tc = 18,628 \cdot \frac{L^{0,882}}{A_i^{0,272}}$	Tc=tempo de concentração (min), L=comprimento do talvegue(km), $A_i$ = taxa impermeabilização da bacia (%)	Área de drenagem de 2,5 a 137 km <sup>2</sup>	Germano et al, 1998
Tulsa District	$tc = K \cdot \left( \frac{0,053 \cdot L \cdot L_{CA}}{\sqrt{I}} \right)^{0,39}$	tc=tempo de concentração (h), L=comprimento do talvegue (km), $L_{CA}$ =Comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km) I=declividade (m/m) K=constante	Talvegue entre 1,6 a 96 km	DRENURBS, 2003
George Ribeiro	$tc = \frac{(16 \cdot L)}{(1,05 - 0,2p) \cdot (100 \cdot I)^{0,04}}$	tc=tempo de concentração (min), P=relação entre a [área de cobertura vegetal e área total do talvegue L = comprimento do talvegue (km). I = declividade do talvegue (m/m)	Bacias com área de 65 a 4200 km <sup>2</sup>	DNIT, 2005

Metodologia	Equação	Variáveis	Observações	Referência
Hathaway	$tc = 0,606 \cdot \frac{(L \cdot n)^{0,467}}{I^{0,234}}$	tc=tempo de concentração (h), L = comprimento do talvegue (km). I = declividade do talvegue (m/m) N = coeficiente de Manning	-	Mata-Lima et al, 2007
Kirpich	$tc = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385}$	tc=tempo de concentração (min), L= comprimento em (Km), I = declividade do talvegue (m/m).	Bacias com áreas até 0,4 km <sup>2</sup>	Santos, 2010
Bransby-Willians	$tc = 14,6 \cdot L \cdot A^{-0,1} \cdot I^{-0,2}$	tc=tempo de concentração em min, I = declividade do talvegue em m/m, L= comprimento em Km, A = Área da bacia em Km <sup>2</sup>	Bacias com área de 65 a 4200 km <sup>2</sup>	Santos, 2010
Cinemático do SCS	$tc = \frac{1000}{60} \cdot \sum \frac{L}{V}$	tc=tempo de concentração em min, L= comprimento em Km, V = velocidade de escoamento em m/s	-	Santos, 2010
Johnstone	$tc = 20,17 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,5}$	tc=tempo de concentração em min, I = declividade do talvegue em m/m, L= comprimento em Km	Bacias com área de 65 a 4200 km <sup>2</sup>	Santos, 2010

Objetivos das formulas acima foi determinar o tempo de concentração e com isso a precipitação efetiva de um evento, em função da característica do solo que influencia na infiltração. A utilização desse método permite que as perdas iniciais por retenção na bacia sejam de 20% do valor total do armazenamento potencial do solo. Portanto o valor do escoamento é gerado apenas se o valor da precipitação total for maior que as perdas iniciais (DECINA, 2012).

O valor das perdas iniciais pode ser calculado pela seguinte formula:

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (11)$$

O valor de S depende do tipo e da ocupação do solo, e pode ser determinado, uma vez definido o valor do numero de curva (curve number – CN), através da equação 12:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (12)$$

Os valores de CN, para uma ocupação de solo mista, como é o nosso caso, deve ser calculado pela media ponderada dos CNs, adotando como valor de ponderação a área correspondente de cada CN.

$$CN_m = p \cdot CN_p + i \cdot CN_i \quad (13)$$

Onde:

$CN_m$  = número de curvas para ocupação mista;

$CN_p$  = número de curvas da parcela permeável da bacia;

$CN_i$  = número de curvas da parcela impermeável da bacia;

$p$  = fração permeável da bacia;

$i$  = fração impermeável da bacia ( $i = 1 - p$ )

O parâmetro CN (Quadro 2) depende do tipo, condições de uso e ocupação e umidade do solo no período que antecede ao evento, esse valor pode variar desde uma cobertura muito impermeável (limite inferior) até uma cobertura completamente permeável (limite superior).

Para a identificação do valor de CN torna-se necessário o conhecimento do solo, esse solo pode ser classificado em 4 grupos (DECINA, 2012):

- Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
- Solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior a média.
- Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagens consideráveis de argila e pouco profundo.
- Solo D: solos contendo argila expansiva e pouco profunda com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

**Quadro 2 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.**

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
Com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas 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 escritório		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (M2)	% media impermeável				
>500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: TUCCI, 2009

As equações acima foram utilizadas para calcular a precipitação em um único dia, o dia cujo pico de chuva teve seu valor máximo. Porém Tucci (2009), afirma que para se analisar um pico de chuva em um determinado dia é necessário adotar uma condição de umidade nos cinco dias antecedentes ao de análise.

O mesmo autor, afirma que existem três condições para a umidade do solo da bacia que precedem a ocorrência de cheia máxima anuais.

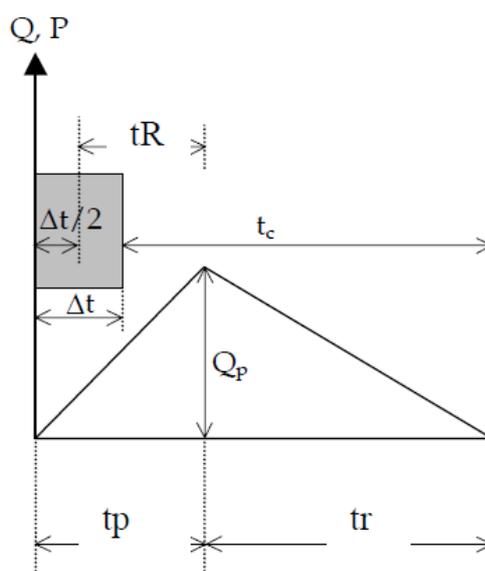
- Condição 1: Solos secos – as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm.
- Condição 2: Situação média na época das cheias – as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm.
- Condição 3: Solo úmido (próximo da saturação) – as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40 mm.

- Hidrograma Unitário do SCS

Esse método realiza a transformação da chuva-vazão, a partir da determinação da chuva efetiva. O hidrograma unitário do SCS, que supõe uma relação linear entre chuvas excedente e vazões do hidrograma de cheias, segue os princípios básicos de proporcionalidade e da superposição e, com isso, sua aplicação pode ser generalizadas para chuvas de qualquer duração e distribuição temporal (FCTH, 2003).

O princípio da proporcionalidade indica que uma vez conhecido o hidrograma gerado por uma chuva unitária (convenciona-se que seja de 10 milímetros ou 1 centímetro) é possível gerar o hidrograma de uma curva qualquer de mesma duração, multiplicando-se as ordenadas do hidrograma unitário pela razão dos valores da precipitação (DECINA, 2012).

O hidrograma formado com o uso deste método foi desenvolvido a partir de bacias agrícolas dos Estados Unidos e tem forma triangular, conforme a Figura 5



**Figura 5 – Hidrograma Unitário SCS.**  
**Fonte: Tassi e Collischonn, 2013**

Para a determinação do hidrograma unitário, deve-se inicialmente determinar alguns parâmetros como o tempo de pico, o tempo de recessão e a vazão de pico.

O tempo de pico obedece a seguinte equação:

$$tp = \frac{\Delta T}{2} + 0,6 \cdot tc \quad (14)$$

Onde:

$\Delta T$  = intervalo de tempo da simulação, obtido a partir da precipitação

$t_c$  = tempo de concentração da bacia

O tempo de recessão obedece a seguinte equação:

$$tr = 1,67 \cdot tp \quad (15)$$

E por último a vazão de pico válida para uma precipitação de 1 centímetro.

$$q_p = 2,08 \cdot \left(\frac{A}{tp}\right) \quad (16)$$

Onde:

$q_p$  = vazão de pico em m<sup>3</sup>/s

A = área em km<sup>2</sup>

$T_p$  = tempo de pico

Como a vazão de pico calculada é para uma quantidade de 1 centímetro de chuva deve-se calcular essa vazão para a quantidade total de chuva na bacia de interesse, multiplicando o valor da vazão de pico com a precipitação efetiva.

$$Q_p = q_p \cdot Pe \quad (17)$$

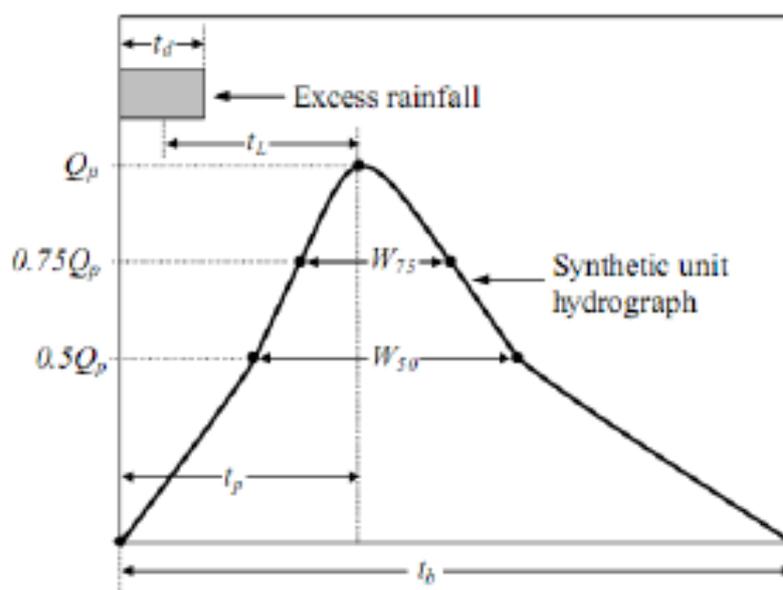
### 3.9.1.2 HIDROGRAMA UNITÁRIO SEGUNDO O MÉTODO DE SNYDER

Segundo Fendrich (1984), os estudos de Snyder datam de 1938 e baseiam-se em observações de rios na região montanhosa dos Apalaches, nos Estados Unidos.

O mesmo autor afirma que, Snyder foi o primeiro hidrólogo a estabelecer um conjunto de equações que relacionasse a geometria física da bacia com as propriedades do hidrograma unitário resultante (Figura 6), de modo que, com ausência de dados de vazão e chuva, fosse possível estimar em um hidrograma a realidade do local.

O método de Snyder usa como parâmetro básico o tempo de pico da bacia ( $t_p$ ), sendo, este, o intervalo de tempo compreendido entre o instante correspondente ao centro de gravidade do hietograma da precipitação efetiva e o pico do hidrograma (FRENDRICH, 2008).

O método também utiliza como parâmetro a vazão de pico, onde as equações para os dois parâmetros foram descritas no item anterior (Equações 14 e 16).



**Figura 6 – Metodologia de construção do hidrograma unitário de Snyder.**  
 Fonte: Tomaz, 2012.

Para se elaborar o hidrograma unitário sintético, Snyder criou dois parâmetros  $W_{50}$  e  $W_{75}$  que representam as larguras do hidrograma unitário sintético para vazões de 50% e 75% do pico (TOMAZ, 2012).

O mesmo autor afirma que, como regra prática as larguras  $W_{50}$  e  $W_{75}$  são proporcionais para cada lado de pico de vazão, na razão de 1/3, sendo que o trecho menor no lado esquerdo do hidrograma.

**Quadro 3 – Variáveis do hidrograma unitário segundo Snyder**

Ponto	Abscissa	Ordenada
1	0	0
2	$tp - \left(\frac{1}{3}\right) \cdot W_{50}$	$0,5 \cdot Q_p$
3	$tp - \left(\frac{1}{3}\right) \cdot W_{75}$	$0,75 \cdot Q_p$
4	$tp$	$Q_p$
5	$tp + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot W_{75}$	$0,75 \cdot Q_p$
6	$tp + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot W_{50}$	$0,5 \cdot Q_p$
7	$tb = tr + tp$	0

Onde

$$W_{50} = 2,14 \cdot \left(\frac{A}{Q_p}\right)^{1,08}$$

$$W_{75} = 1,22 \cdot \left(\frac{A}{Q_p}\right)^{1,08}$$

Sendo:

A = área de bacia

Qp = vazão de pico

### 3.9.1.3 ÍNDICE DE INFILTRAÇÃO PHI ( $\Phi$ )

Esse método considera que existe uma infiltração constante ao longo do tempo, sendo assim um método muito simplificado (TASSI, 2013).

Para a aplicação do método, define-se inicialmente um volume correspondente à capacidade de armazenamento de água no solo, além de outras perdas. Divide-se esse valor pelo número total de intervalos de tempo com chuva, e esse valor corresponde ao índice  $\Phi$ . A precipitação que não infiltra é obtida da a partir da subtração do índice  $\Phi$  e da precipitação total. Quando o valor de  $\Phi$  for maior que a precipitação total, deve-se distribuir a diferença entre os demais intervalos (TASSI, 2013).

No caso da existência de um hidrograma observado, pode-se proceder com a separação do escoamento superficial. Uma vez conhecida a precipitação total e o escoamento superficial em uma Bacia Hidrográfica, pode-se calcular por diferença, a capacidade de infiltração da mesma, embora o valor encontrado englobe além da infiltração toa a interceptação e armazenagem nas depressões. Este, por menor, entretanto, não afeta a solução dos problemas de um projeto, vez que normalmente a meta é o conhecimento do escoamento superficial resultante de uma certa precipitação, conhecida a capacidade de infiltração (VILLELA, 1975).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa deste trabalho foi realizada conforme o fluxograma apresentado na Figura 7.

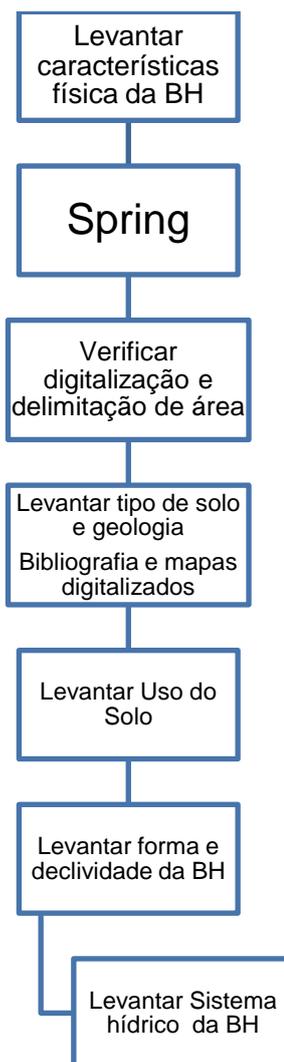
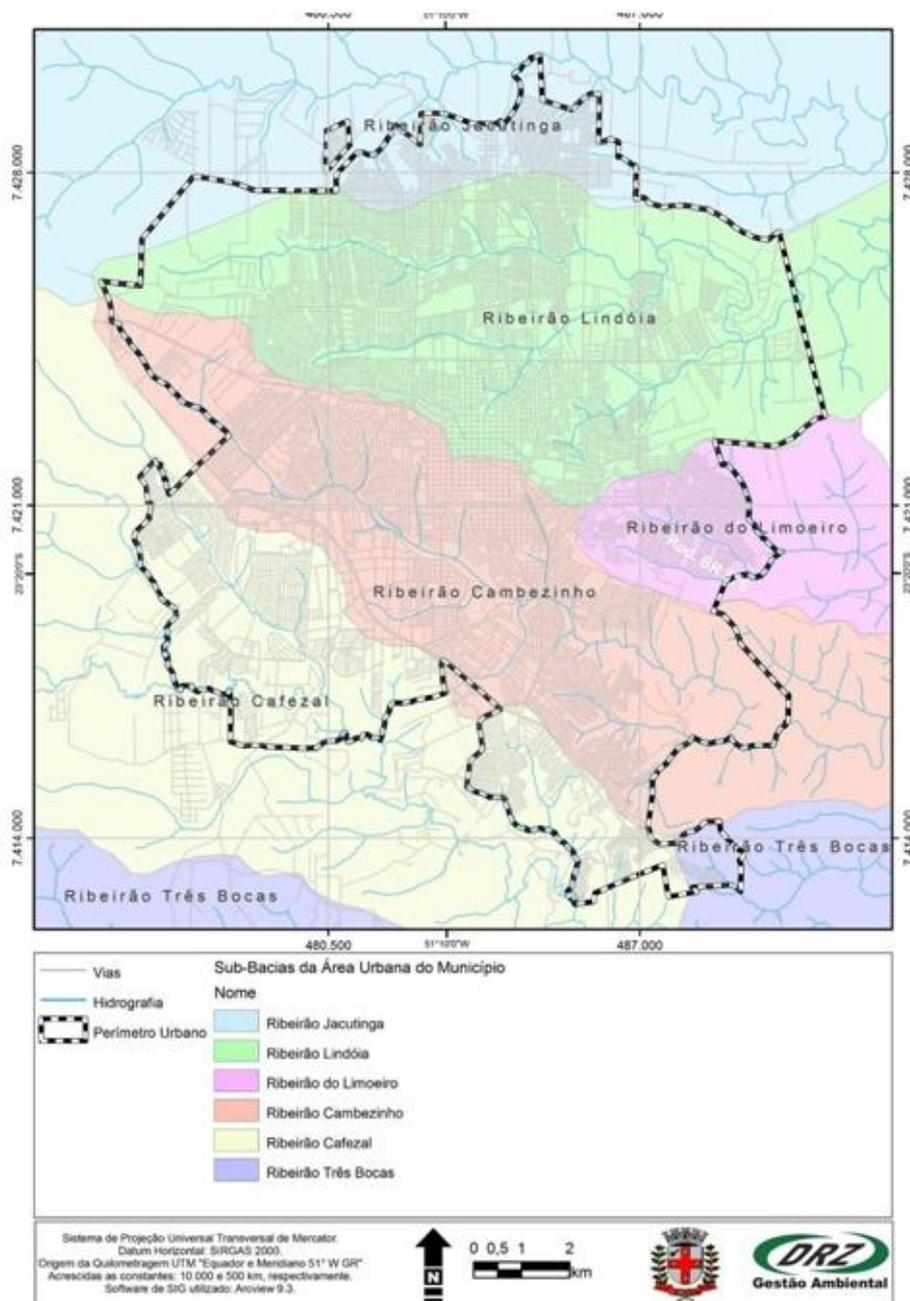


Figura 7 – Fluxograma da primeira etapa

#### 4.1.1 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA

A área de estudo é do Ribeirão Cambezinho localizado na cidade de Londrina (Figura 8). A cidade de Londrina situa-se entre 23° 08'47" de latitude sul e 51° 19'11" a oeste de Greenwich, o município de Londrina ocupa 1.724,7 Km<sup>2</sup>, cerca de 1% da área total do Paraná. A zona urbana de Londrina é de 118,504Km<sup>2</sup> e sua zona de

expansão de 119,726, totalizando 238,300 Km<sup>2</sup> (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE LONDRINA-PR, 2008).



**Figura 8 – Localização do Ribeirão Cambezinho.**  
**Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina-PR.**

O Ribeirão Cambezinho está localizado à noroeste da cidade de Londrina que tem à sua esquerda o Ribeirão Limoeiro e, à sua direita, o Ribeirão Três Bocas, do qual é tributário. O Ribeirão Cambezinho tem sua nascente no trevo das estradas Londrina/Cambé – São Paulo/Curitiba recortando a cidade de Londrina no sentido noroeste/sudeste, num percurso de 22,28 km até desaguar no Ribeirão Três Bocas.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Três Bocas faz parte da bacia hidrográfica do Rio Tibagi, que se liga às bacias hidrográficas dos Rios Paranapanema, Paraná e finalmente à Bacia Platina.

Nesse ribeirão encontram-se quatro locais que servem de armazenamento de água, o Lago Igapó, que devido à sua fragmentação por ruas e avenidas, foi dividido nos lagos Igapó I, Igapó II, Igapó III e Igapó IV.

O levantamento da área e a delimitação do Ribeirão foram realizados pelo programa SPRING a partir de mapas digitalizados disponibilizados em redes de dados específicas.

Os seguintes fatores físicos foram considerados como os mais importantes para caracterizar a bacia hidrográfica:

- Área
- Tipo do solo
- Geologia
- Uso do solo
- Forma
- Declividade

#### 4.1.2 DIGITALIZAÇÃO E VERIFICAÇÃO DA ÁREA UTILIZANDO SIG (*SPRING*)

A etapa inicial da entrada de dados no sistema de informação geográfica foi realizada pela elaboração de um banco de dados que reuniu todas as informações de interesse da região estudada. O aplicativo utilizado foi o SPRING. Nesse programa tornou-se possível a criação de um banco de dados no qual se importou imagens de satélite e mapas digitalizados para manipulação.

Para avaliar a classe de permeabilidade da superfície urbana foram utilizadas imagens de satélites LANDSAT5 de primeiro de setembro de 2011 obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2013). Os arquivos da imagem contem bandas multiespectrais: vermelho, azul e verde. A fim de reconhecer as diferentes feições presentes na bacia, foram realizadas composições entre as bandas resultando em pixels de 30m por 30m.

Foram importados para o banco de dados do SPRING os limites das bacias hidrográficas do Paraná obtidos no site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2013), sendo que se fez o recorte exato do limite da bacia do ribeirão Cambezinho para uma análise mais específica.

Visitas de campo foram realizadas no entorno do Ribeirão Cambezinho, próximo a nascente, na barragem e em seu exutório, para melhor interpretação das classes de permeabilidade podendo assim verificar padrões de assentamentos urbanos que são utilizados para edificação nos lotes.

O estudo de tipos de ocupação dos lotes foi comparado com as características dos quarteirões urbanos das imagens obtidas por satélites, podendo definir, avaliar e quantificar a porcentagem da superfície do solo que está impermeável neles, causado por fatores como telhados, áreas cimentadas e edificações.

Na determinação das classes de permeabilidade, as imagens de satélite foram analisadas, buscando-se identificar alvos que estavam bem definidos na época e puderam ser diferenciadas pela tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, cor e associações. A identificação destas características recorreu a critérios de interpretação, sendo associada uma classe de permeabilidade ao quarteirão, de acordo com a porcentagem de áreas construída. A digitalização das classes de permeabilidade foi feita pelo método de classificação de imagem manualmente.

#### 4.1.3 LEVANTAMENTO DE TIPO DE SOLOS E GEOLOGIA DA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBEZINHO

No caso da bacia estudada, a identificação da tipologia do solo e da geologia inicialmente realizou-se por meio de bibliografias adequadas ao assunto. Em seguida, dados disponíveis no site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2013) também foram obtidos, por serem compatíveis com o SIG usado.

Feito a Identificação dos tipos de solos e da geologia pertencentes à bacia, traçou-se os mapas temáticos elaborados no programa SPRING.

#### 4.1.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Realizada a digitalização das classes de permeabilidade e a interpolação dos mapas temáticos (pedologia da bacia hidrográfica), foi efetuada a medição e comparação das áreas pelas classes de acordo com o ano estudado, podendo-se dividir as áreas em vegetação, solo exposto e área construída.

##### 4.1.4.1 VEGETAÇÃO

Na classe de vegetação, foram agrupadas todas as regiões que possuíam características de boa absorção da água, com taxa de permeabilidade maior do que as outras classes.

Visualmente foram selecionados os *pixels* das imagens de satélite com coloração esverdeada.

##### 4.1.4.2 SOLO EXPOSTO

Os solos expostos foram agrupados separadamente da vegetação, pois sua característica de permeabilidade difere um pouco em relação a este. A absorção de água em relação da vegetação foi menor, porém em relação à área construída foi maior. Além de uma menor absorção, quando chove em um solo exposto, a água carrega uma quantidade significativa de sedimentos causando assim erosão e podendo aumentar o risco de enchentes.

Visualmente, para essas áreas, foram selecionados *pixels* de cores roxas e com coloração bem escura, próximo ao preto.

##### 4.1.4.3 ÁREA CONSTRUIDA

Nessa classe a permeabilidade da água é mínima, sendo que toda precipitação, irá escoar e se direcionar para as galerias pluviais e com seu destino final no ribeirão Cambezinho.

Visualmente os *pixels* selecionados para a classificação dessas áreas foram os que possuíam coloração cinza, onde podemos identificar as vias pavimentadas e alaranjadas que seriam os telhados das casas.

#### 4.1.5 FORMA E DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA

Com todos os dados referentes a bacia do ribeirão Cambezinho inseridos no banco de dados do SPRING, por meio de ferramentas do próprio programa foi possível identificar todos os fatores necessários para estimar a forma da bacia de acordo com as equações 1, 2 e 3 demonstradas nas referencias bibliográficas.

A declividade também foi obtida no programa por meio do desenvolvimento de um mapa temático onde as informações de topografia foram obtidas por dados do satélite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) GDEM (*Global Digital Elevation Map*) com uma resolução de 30 metros.

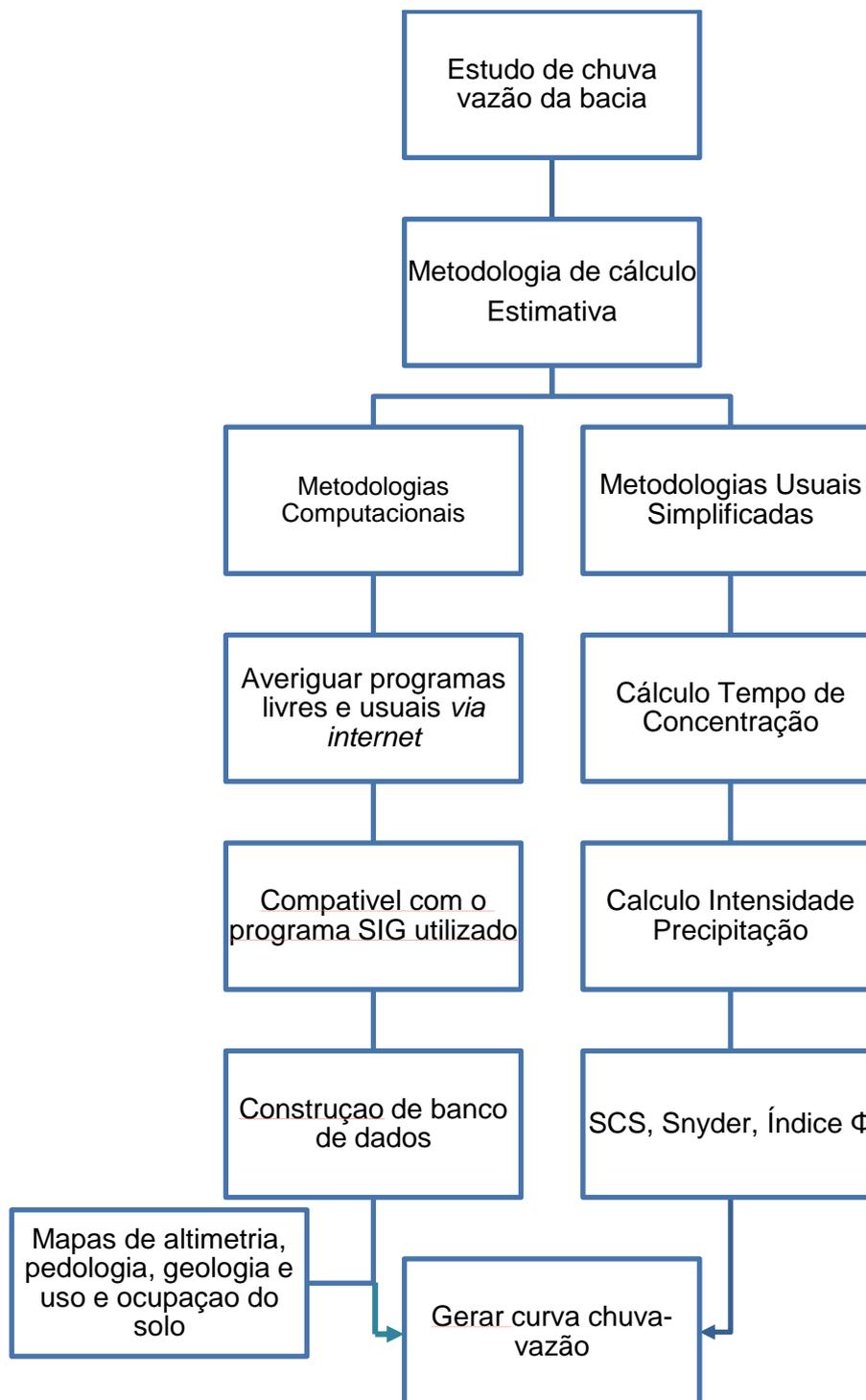
#### 4.1.6 LEVANTAR SISTEMA HÍDRICO DA BACIA

Através de dados obtidos pelo site do ITCG, obteve-se a delimitação das bacias hidrográficas pertencentes ao Paraná, assim como os rios e ribeirões pertencentes a essa bacia.

Esses dados foram importados para o SPRING e realizou a elaboração de um mapa temático da hidrografia do ribeirão Cambezinho.

### 4.2 SEGUNDA ETAPA

Para o estudo das curvas chuva-vazão do ribeirão Cambezinho, seguiu-se duas linhas. A primeira refere-se às metodologias de cálculo que visam estabelecer estimativas de acordo com cenário estabelecido, e a segunda refere-se ao uso de programa hidrológico para geração de deflúvios associados a precipitações na Bacia Hidrográfica. Essa etapa foi realizada de acordo com o fluxograma da Figura 9.



**Figura 9 – Fluxograma segunda etapa**

#### 4.2.1 ESTUDO DA CHUVA - VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA

Para o estudo da chuva-vazão foram aplicadas metodologias de cálculos computacionais e também metodologia usuais simplificadas. Sendo que a

metodologias de cálculos computacionais foi realizada por meio de programa livre disponível na internet compatível com o SIG utilizado.

Para o cálculo do escoamento superficial por meio de metodologias simplificadas foram utilizados os métodos já mencionados anteriormente como o SCS Curve Number, Índice de infiltração  $\phi$  ( $\phi$ ) e o método de Snyder.

Nessa etapa também houve medições da vazão do ribeirão Cambezinho próximo ao seu exutório.

#### 4.2.1.1 PROGRAMAS LIVRES E USUAIS VIA INTERNET

Foi necessário o levantamento de uma série de programas livres ou disponíveis via internet, que possibilitou o cálculo da chuva-vazão através de um modelo matemático inserido de forma computacional (*software*).

O Penn State Integrated Hydrologic Modeling System (PIHM) é um programa desenvolvido pela Universidade Estadual da Pensilvânia – Estados Unidos (*The Pennsylvania State University*) que associado um SIG (PIHMgis) possui a finalidade de simular os processos de chuva-vazão em bacias hidrográficas (PIHM, 2013).

O PIHMgis é um programa aberto, disponível gratuitamente, juntamente com a instalação, tutoriais, exemplos de modelagem e guias do usuários. O programa visa a busca de uma representação concisa das bacias hidrográficas, o que permite interações entre os principais processos físicos que ocorrem simultaneamente.

O PIHMgis pode ser utilizada em uma grande gama de situações, sendo aplicável a grandes e pequenas bacias hidrográficas. Os hidrogramas produzidos podem ser utilizados para estudos de disponibilidade hídrica, drenagem urbana, previsão de vazões, impactos de urbanização, entre outras aplicações.

Logo, esse programa nada mais é do que um modelo hidrológico que tenta simular variáveis no estado hidrológico no espaço e no tempo usando informações como clima, uso do solo, topografia, hidrologia, tipo do solo, geologia. É um complemento do QUANTUM GIS, um SIG gratuito e de fácil manipulação (QGIS, 2013).

- Compatibilidade com o programa SIG utilizado

Esse programa deveria ser compatível com o programa SIG utilizado, caso não houvesse compatibilidade, um novo levantamento seria realizado até a obtenção de um programa compatível.

- Mapas de altimetria

Para a construção do banco de dados no programa selecionado, foi necessário adicionar os mapas obtidos anteriormente como o de pedologia, geologia e uso e ocupação do solo.

Os valores de intensidade de precipitação também foram inseridos nessa etapa do processo, visando à geração das curvas de chuva vazão.

#### 4.2.1.2 METODOLOGIAS USUAIS SIMPLIFICADAS

Foram utilizadas metodologias obtidas na primeira etapa deste trabalho para realizar o cálculo da chuva-vazão em uma bacia hidrográfica, porém em nosso trabalho deu-se ênfase a três principais métodos para resolução desse problema.

- Cálculo do Tempo de Concentração

O tempo de concentração foi calculado com o auxílio do programa EXCEL e as equações utilizadas podem ser visualizadas no Quadro 1. Essas equações necessitam dos dados físicos da bacia para sua estimativa.

- Cálculo da Intensidade de Precipitação

O cálculo da intensidade de precipitação foi realizado de acordo com a equação 9. Essa equação da intensidade varia de acordo com a localidade estudada e depende exclusivamente do tempo de retorno ( $T_r$ ) que, para esse estudo serão adotados os valores de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, e também do tempo de tormenta ( $t_d$ ).

O tempo de tormenta para as simulações propostas foi adotado igual ao tempo de concentração ( $t_c$ ).

Os valores da intensidade de precipitação foram utilizados tanto para as metodologias usuais simplificadas como também para a metodologia computacional.

- Método da Curva-Número (SCS, 1964)

Para a elaboração das curvas de chuva-vazão segundo o método do SCS primeiramente calculou-se o valor do CN médio que representa a bacia hidrográfica. Esse valor foi obtido pela equação 13.

Em seguida foi determinado o valor das precipitações efetivas para os tempos de retorno em estudo. A precipitação efetiva, foi calculada pela equação 8, é dependente de uma série de fatores associados às equações 10, 11 e 12 descritas anteriormente.

Com os valores da precipitação efetiva a vazão de pico é calculada por meio da equação 17, sendo que para finalizar a construção do hidrograma unitário, basta calcular o tempo de pico, obtido por meio da equação 14.

Tanto os cálculos referentes às equações citadas como a elaboração do hidrograma unitário foram realizados com o auxílio do programa EXCEL.

- Método de Snyder

O hidrograma segundo o método de Snyder foi calculado de acordo com as equações 14, 17 e com o Quadro 3. Os cálculos e a elaboração das curvas de chuva vazão foram realizados com o auxílio do programa EXCEL.

- Índice  $\phi$

O índice  $\phi$  foi utilizado, pois seu cálculo nos revela um valor próximo à realidade da velocidade do escoamento superficial. O volume total de precipitação pode ser calculado pela equação 18:

$$\text{Volume total} = \text{Precipitação} \cdot \text{tempo de chuva} \cdot \text{área de solo e cobertura vegetal} (18)$$

O volume do escoamento superficial foi obtido por meio do cálculo da área do pico da curva de chuva-vazão obtida no modelo computacional utilizado (PIHMgis). Diminuindo a quantidade total de precipitação pelo escoamento da água, se tem o volume de água infiltrado.

$$\text{Volume infiltrado} = \text{Volume Precipitação total} - \text{Volume escoado} \quad (19)$$

Com o volume da infiltração, para calcular o valor  $\Phi$  foi necessário dividir o volume infiltrado pela área e pelo tempo de chuva

$$\Phi = \frac{\text{Volume infiltrado}}{\text{Área} \cdot \text{Tempo de chuva}} \quad (20)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA

Nesse estudo a bacia foi considerada em sua totalidade e para a análise física, por meio da utilização do geoprocessamento, inicialmente foi preciso utilizar as imagens do satélite LANDSAT 5 obtidas gratuitamente no site do INPE

O tratamento inicial dessas imagens foi realizado pelo programa IMPIMA que está associado ao SIG utilizado, capaz de converter a imagem de satélite para que o programa SPRING possa identificá-la.

Em seguida realizou-se o registro dessas imagens. As imagens foram exportadas para o SPRING e através da ferramenta Registro, convertendo-se as coordenadas da imagem (linha e coluna) para coordenadas geográficas (latitude e longitude) do mapa.

A imagem para registro foi à imagem a ser georreferenciada e que não apresenta sistemas de coordenadas relacionados com seus *pixels* originalmente.

O registro da imagem foi feito por meio de uma imagem de referência, ou seja, imagem que apresenta em seu arquivo um sistema de coordenadas geográficas e que servirá de base para a imagem de registro. Não foi utilizada a imagem de referência, pois, na maioria das vezes, é uma imagem desatualizada, por isso a necessidade de fazer o registro de outras imagens.

O registro usa transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1° e 2° graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

As transformações polinomiais fazem o vínculo entre coordenadas de imagem e as coordenadas no sistema de referência através de pontos de controle. Pontos de controle são feições passíveis de identificação na imagem e no terreno, ou seja, são feições homólogas cujas coordenadas são conhecidas na imagem e no sistema de referência. Cruzamentos de estradas, pistas de aeroportos e confluência de rios são candidatos naturais a pontos de controle.

O registro foi feito vinculando certos pontos na imagem de referência que possam ser facilmente identificados com a imagem de registro. Esses pontos são conhecidos como pontos de controle e selecionados *via mouse* no próprio programa.

Sendo que quanto melhor distribuídos e precisos forem identificados esses pontos, mais perfeito será o registro.

Feito o registro das imagens obteve-se uma representação das bacias estudadas (Figura 10).



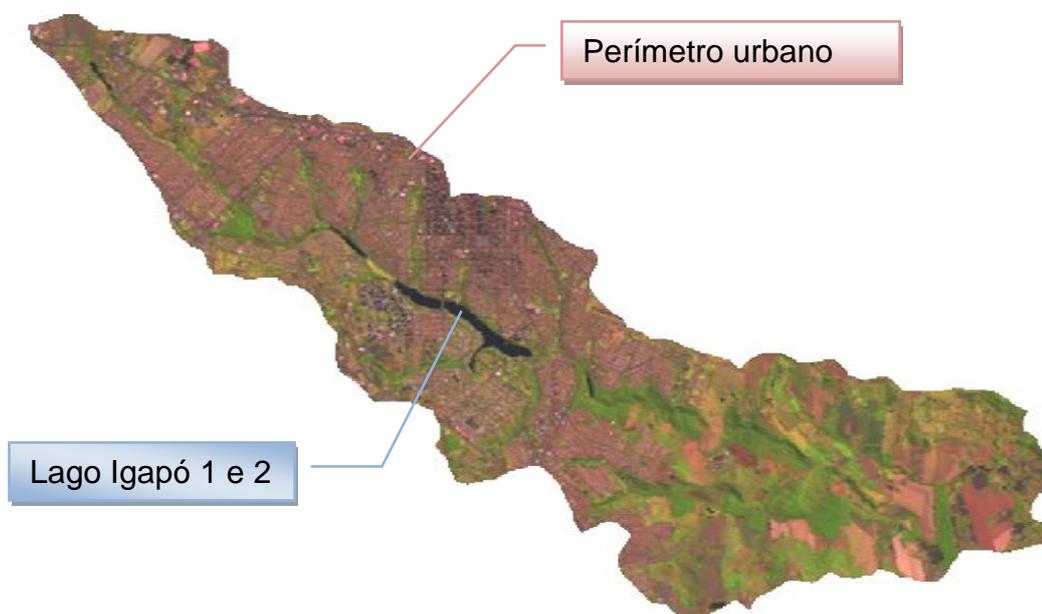
**Figura 10– Imagem de satélite Landsat5**

Para melhor identificar a área da bacia estudada, por meio do site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG) obteve-se a delimitação das bacias do Paraná. Sobrepondo as imagens de satélite e o dado de limite das bacias urbanas encontrou-se a área do ribeirão Cambezinho (Figura 11). Logo, por meio da ferramenta Medida de Classe, constatou que a área da bacia estudada é de 73,88 Km<sup>2</sup>.



**Figura 11– Bacias hidrográficas obtidas pelo ITCG**

A bacia Cambezinho ainda foi recortada exatamente em seu limite, para uma melhor visualização e caracterização física (Figura 12).

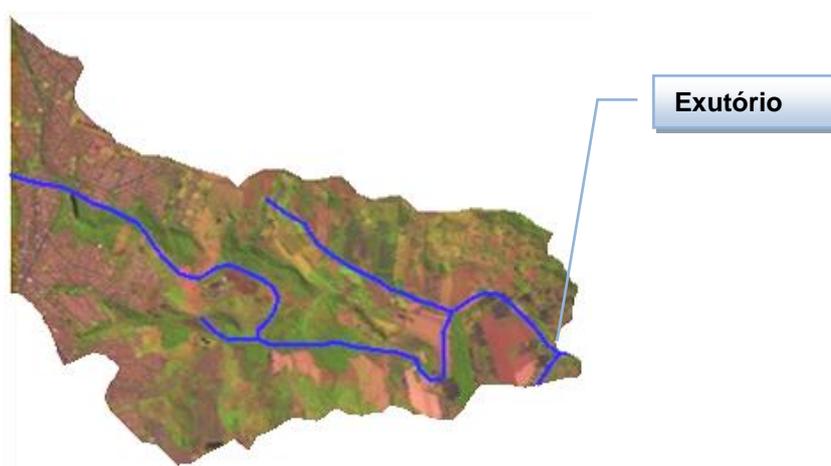


**Figura 12 - Bacia do Ribeirão Cambezinho recortada**

Essa bacia foi dividida em duas seções, sendo que a primeira é representado desde o início do ribeirão até a barragem do Lago Igapó (Figura 13) e a segunda seção é representado da barragem até o exutório da bacia (Figura 14). Dados como área, perímetro, comprimento axial, largura média e centróide da bacia foram obtidos nessa parte do trabalho por meio de ferramentas do SPRING.



**Figura 13 – Ribeirão Cambezinho Seção 1**



**Figura 14 – Ribeirão Cambezinho Seção 2**

Em uma análise superficial, fica evidente a maior quantidade de vegetação a leste da bacia e uma urbanização acentuada a oeste desta. O perímetro urbano, região oeste da bacia, nos remete a uma região cuja evolução urbana vem aumentando gradativamente ao longo dos anos.

Em dias com uma quantidade considerável de chuva, a vazão do rio pode dobrar dependendo das características fisiográficas da bacia, e assim o risco de inundação aumenta.

As características fisiográficas da bacia estão representadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Resumo dos dados fisiográficos da bacia do ribeirão Cambezinho.**

	Seção 1		Seção 2		Bacia Inteira	
	km	m	km	m	km	m
<b>Área</b>	35,83	35830000	38,06	38057474	73,89	73887474
<b>Perímetro</b>	-	-	-	-	53,56	53562
<b>Talvegue</b>	9,33	9328,25	12,95	12947,73	-	-
<b>Comp. Axial</b>	-	-	-	-	18,21	18210
<b>Larg. Média</b>	-	-	-	-	3,91	3910
<b>Cota Mínima</b>	-	513	-	382	-	-
<b>Cota Máxima</b>	-	643	-	587	-	-
<b>Declividade</b>	13,94	0,01	15,83	0,02	-	-
<b>Centróide</b>	-	-	-	-	9,39	9390

Esses valores foram essenciais para cálculos posteriores do trabalho, como por exemplo, para calcular os tempos de concentração (Tabela 4) e os índices relacionados ao formato da bacia (Tabela 2).

**Tabela 2 – índices de formato da bacia**

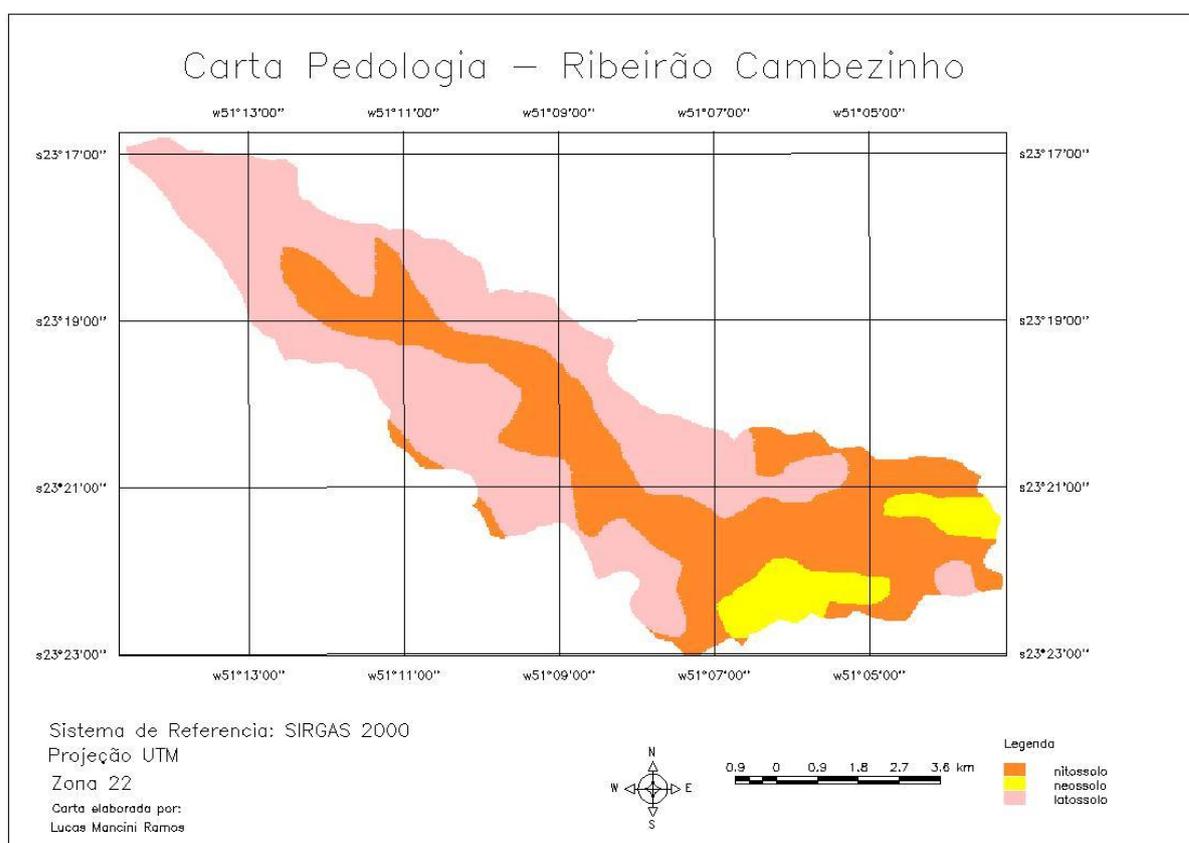
<b>Índices de formato da bacia</b>	<b>Valor</b>
Índice de Compacidade	1,74
Índice de Conformação	0,22

Segundo Borsato (2004) a bacia Maringá, localizado na cidade de Maringá – PR, que possui características fisiográficas similares a bacia do Ribeirão Cambezinho, tem como valores de Kc de 1,32. O mesmo autor afirma que essa bacia não é muito sujeita a enchentes, devido ao fato de ser uma bacia mais alongada, provado no valor de kc não próximo de 1.

Sendo assim pelos índices de formato da bacia do Ribeirão Cambezinho pode-se afirmar que esta tem pouca tendência a enchente, pois também se trata de uma bacia alongada, com seu formato próximo ao uma elipse, significando que a água escoada será distribuída uniformemente pela bacia em um período de tempo determinado.

## 5.2 REPRESENTAÇÃO DO TIPO DO SOLO E GEOLOGIA

Dados do tipo do solo foram obtidos também no site do ITCG e importados para o programa SIG. Esses dados confirmam a bibliografia de que no Ribeirão Cambezinho existem três tipos de solo: o Latossolo, encontrado em maior quantidade, seguido pelo Nitossolo e Neossolo, respectivamente (Figura 15). Os mapas elaborados na etapa de resultados e discussão foram elaborados com o auxílio do programa SCARTA que está associado ao programa SPRING.

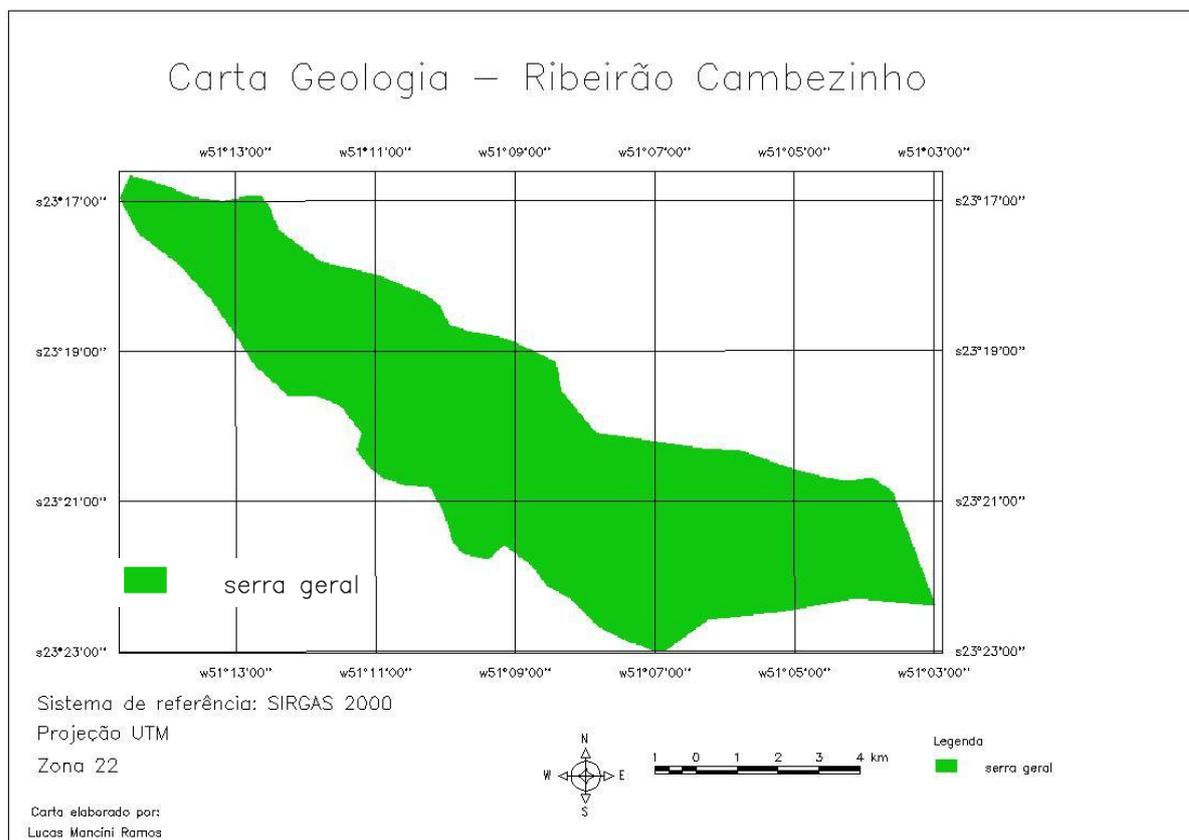


**Figura 15– Mapa pedológico da bacia do Ribeirão Cambezinho**

O mapa de solos da bacia do Cambezinho, mostra que existe 52,6 % de solo tipo Latossolo. O Latossolo possui como característica maior parcela de argila seguida por silte e areia. A argila por ter menor porosidade dificulta a passagem da água tornando esse tipo de solo mais impermeável.

Essa característica deverá influenciar na modelagem da bacia, podendo aumentar a taxa de escoamento superficial.

A geologia da região também foi analisada, após a obtenção dos dados no mesmo site descrito anteriormente. A representação da geologia pode ser observada na Figura 16, que demonstra toda a área da bacia inserida em uma mesma classe geológica denominada Serra Geral.

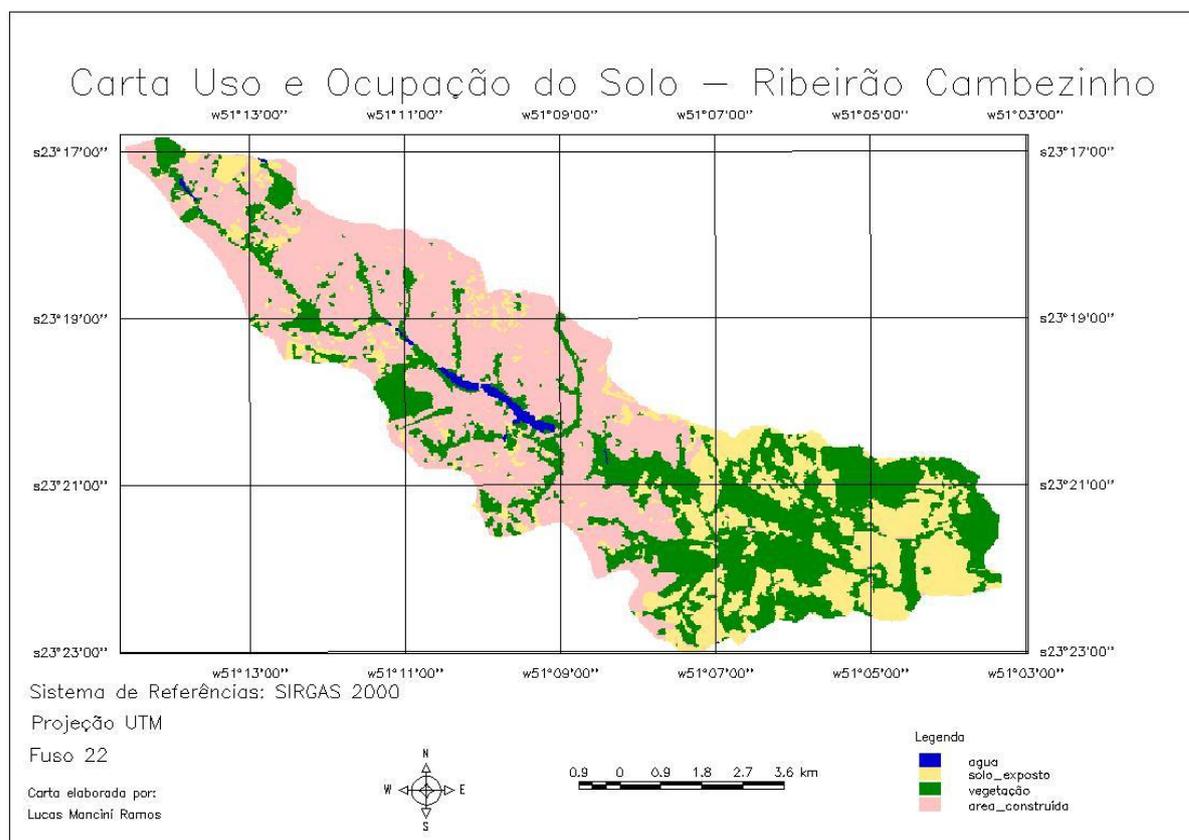


**Figura 16– Mapa geológico do Ribeirão Cambezinho.**

### 5.3 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E TOPOGRAFIA

O processo de delimitação de uso e ocupação do solo foi realizado com base na imagem obtida do INPE. Com o auxílio do programa SPRING, por meio da ferramenta denominada Classificação “*Pixel a Pixel*” o programa identifica a coloração de um *pixel* em uma pequena amostra e classifica o restante da imagem nas regiões de permeabilidade citadas anteriormente, água, vegetação, solo exposto e área construída.

O mapa resultante desse processo pode ser visualizado na Figura 17. Essa classificação foi relevante, pois por meio dela, foi possível identificar as classes de ocupação do solo e relacionar com o quadro do Curve Number (Quadro 2).



**Figura 17– Mapa de classificação do uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambezinho.**

As áreas correspondentes a cada categoria utilizada na classificação do uso do solo, assim como sua porcentagem em relação à área total, podem ser visualizadas na Tabela 3, que foi obtida com o auxílio do programa EXCEL.

**Tabela 3 – Correlação entre o uso do solo e os valores de CN**

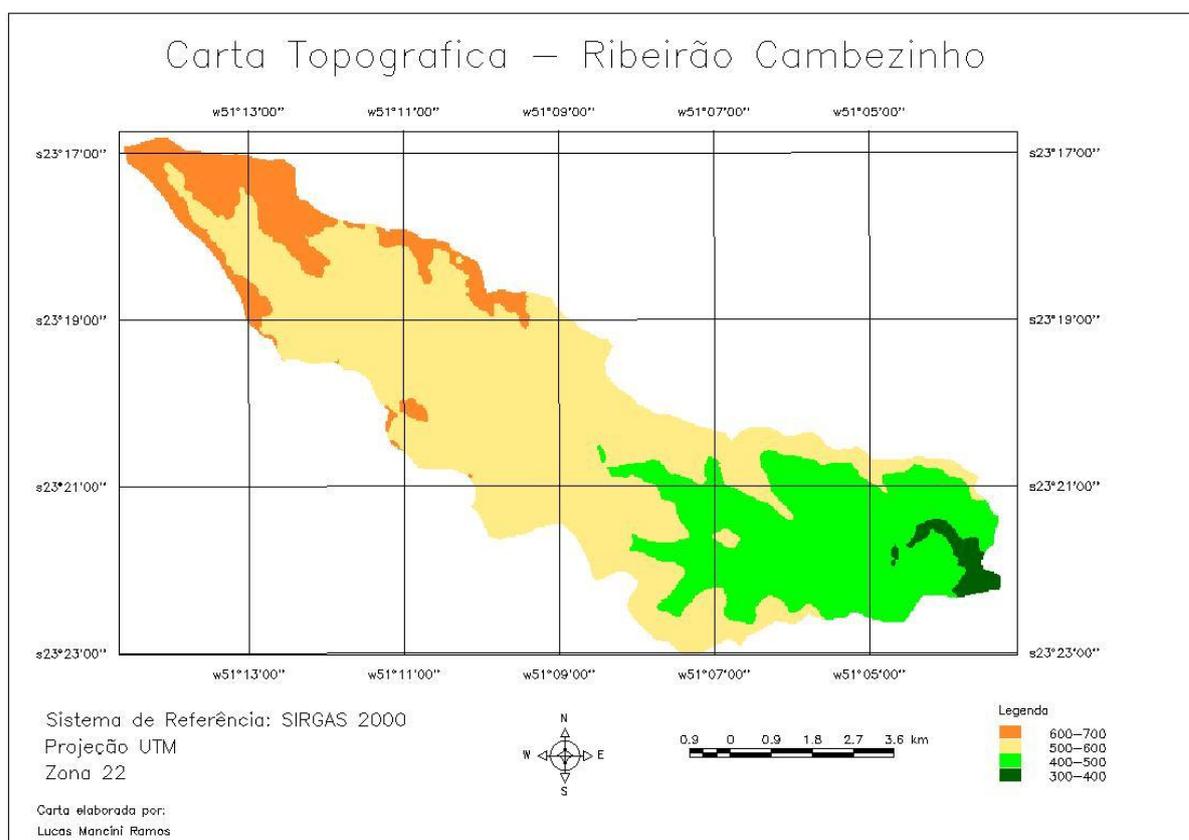
Classe do uso do solo	Correspondente com tabela 11	Área (Km2)	Área (%)	Valor do CN adotado
Área construída	Telhados e asfaltos	33,34	45,13	83
Solo exposto	Espaço abeto com relva de 50 a 75%	24,15	32,69	79
Vegetação	Floresta: Cobertura boa	15,75	21,32	70
Água	-	0,64	0,87	-
Total	-	73,88	~100,	-

Ao analisar os dados gerados pela interpretação da imagem de satélite, percebe-se que a área de estudo possui ocupação urbana considerável, concentrada principalmente na parte inicial do Ribeirão Cambezinho, onde se localizam áreas residenciais incluindo o bairro da Gleba Palhano. Esse bairro é responsável por um aumento considerável nos índices de urbanização da cidade e conseqüente impermeabilização do solo.

As regiões mais próximas do exutório concentram as matas ciliares dos córregos ali presentes e uma quantidade expressiva de solo exposto. Nessa região a taxa de infiltração será maior do que na área urbanizada desta bacia.

A topografia foi obtida por dados do satélite ASTER/GDEM com uma resolução de 30 metros. Esses dados foram utilizados para geração de classes altimétricas, dadas por intervalos de valores em metros, para uma melhor visualização da altitude da região.

O relevo foi subdividido em classes de declividades discriminadas em quatro intervalos distintos (Figura 18).

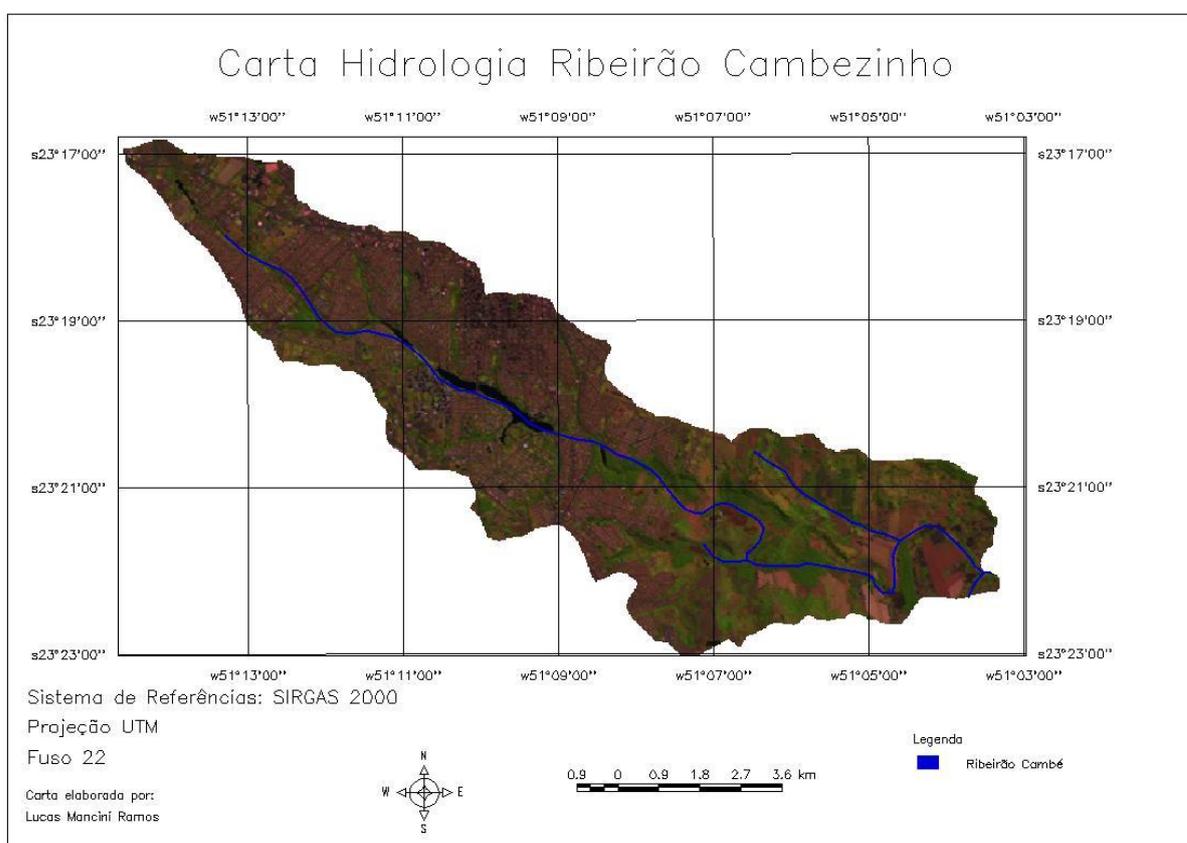


**Figura 18– Topografia Ribeirão Cambezinho**

Os valores de cota máxima e mínima foram obtidos também por meio de ferramentas do SIG e correspondem a 634 e 382 metros respectivamente.

#### 5.4 SISTEMA HÍDRICO DA BACIA

O sistema hídrico da bacia em questão foi obtido novamente no site do ITCG e adicionado ao banco de dados do SPRING obtendo assim, a representação a seguir, onde a linha azul representa o talvegue principal do Ribeirão Cambezinho (Figura 19).



**Figura 19– Sistema hídrico da Bacia**

Os dados obtidos por essa representação foram utilizados para caracterizar fisicamente o comprimento do talvegue.

#### 5.5 SOFTWARE ESCOLHIDO PARA MODELAGEM HIDROGRÁFICA E SIG

Como demonstrado na bibliografia, o modelo computacional utilizado para a realização do estudo, compatível com o SIG utilizado, foi o PIHMgis.

## 5.6 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A determinação do tempo de concentração ( $t_c$ ) é imprescindível para o entendimento das vazões de projeto a partir de dados de chuva.

Para o começo da modelagem da bacia estudada, os valores do tempo de concentração são primordiais, pois por meio dele será realizado o cálculo da intensidade da precipitação que estará inserido tanto nos modelos matemáticos computacionais como nos usuais. Posteriormente, cada metodologia, indicará como será a utilização da intensidade de precipitação.

Assim como, para o cálculo das características fisiográficas da bacia, foi realizada a divisão desta em duas seções, para se ter maior precisão dos valores do tempo de concentração igualmente dividiu-se o Cambezinho em dois (Figura 13 e Figura 14).

Todas formulações utilizaram parâmetros oriundos das características fisiográficas da bacia do ribeirão Cambezinho. Dependendo da metodologia utilizada, foi necessária a utilização de algumas variáveis que estão descritas no Quadro 4.

**Quadro 4 – Variáveis para cálculo do tempo de concentração**

Metodologia	Variável
Arnel	Bacia urbana
Giadotti	Hm = altitude média do talvegue de 531,48 m
DNOS	K = 4,5 (DNIT)
IPH II	Ai = taxa de impermeabilidade de 87,04%
Tulsa	K = totalmente urbanizada 0,59
George Ribeiro	P = 0,6
Hathaway	n = coeficiente de Manning 0,07
Cinemático SCS	V = velocidade= Cv/declividade (%) Cv = relacionado a ocupação do solo 0,55

Logo, calculou-se o tempo de concentração para cada seção, sendo que a representação  $T_c'$  está relacionado com a seção 1 e o  $T_c''$  com a seção 2, a soma dos dois valores corresponde ao tempo de concentração total da bacia (Tabela 4).

**Tabela 4 – Valores de tempo de concentração calculados**

<b>Metodologia</b>	<b><math>T_c'</math></b>	<b><math>T_c''</math></b>	<b><math>T_c'+T_c''</math></b>
Riverside Country	72,68	60,36	153,05
Arnell	3,44	4,14	7,58
Ven Te Chow	94,61	112,03	206,64
Picking	97,59	116,38	213,97
Giadotti	123,41	143,45	266,86
Pasini	380,94	406,76	787,70
DNOS	141,05	145,72	286,77
Temez	221,27	277,10	498,37
Ventura	384,83	372,09	756,92
IPH II	47,38	63,27	110,65
Tulsa	148,23	164,31	312,54
Geoge Ribeiro	158,37	218,70	377,07
Hathaway	80,99	91,62	172,61
Kripich	115,38	141,39	256,77
Willians	208,19	346,46	554,65
SCS	-	-	545,33
Jonhstone	179,30	204,60	383,90

Devido a grande quantidade de metodologias utilizadas para um cálculo do tempo de concentração, torna-se necessário a escolha de um tempo mais adequado as características da bacia estudada. Pelo fato do método do SCS englobar maior quantidade de elementos da bacia como área, uso e ocupação, declividade, comprimento do talvegue e velocidade, foi adotado para as estimativas das curvas de chuva-vazão.

## 5.7 INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO

A duração da chuva de projeto foi determinada em função do calculo do tempo de concentração da bacia estudada.

Utilizando a equação 9 e adotando um tempo de tormenta igual ao tempo de concentração de 545,33 minutos, obtiveram-se os valores de intensidade de precipitação.

Assumindo que o valor de precipitação total calculado é para um período de 545,33 minutos, é necessário o cálculo da quantidade de chuva no intervalo determinado, pois é dessa maneira que serão inseridos os dados no modelo computacional

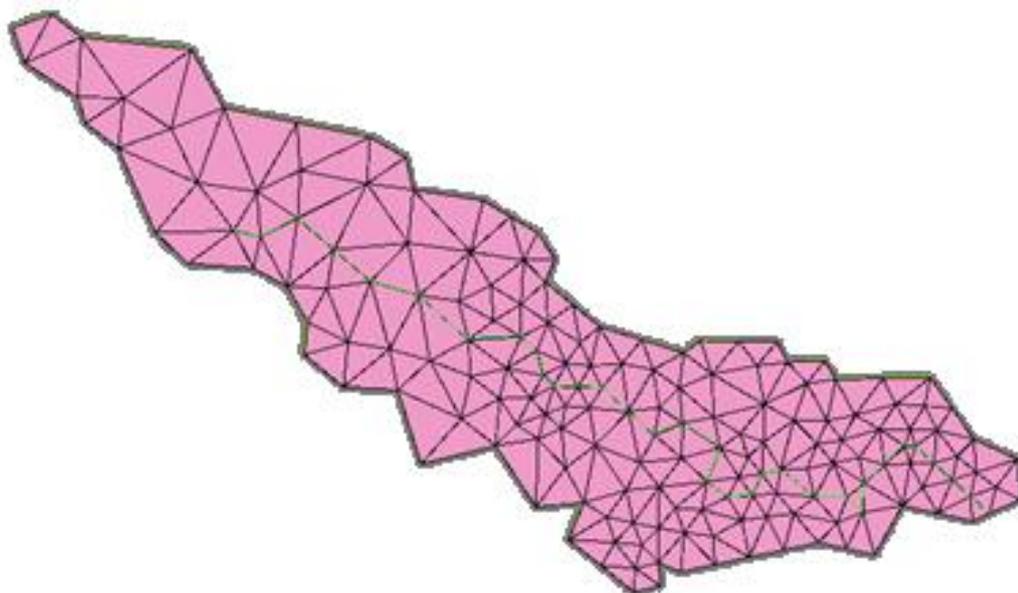
Os valores de precipitação total também foram calculados de acordo com a equação 10 (Tabela 5):

**Tabela 5 – Intensidade da Precipitação (mm/h) e precipitação total (mm)**

<b>Tempo de retorno (anos)</b>	<b>Intensidade da Precipitação (mm/h)</b>	<b>Precipitação total (mm)</b>	<b>Precipitação Total (m/dia)</b>
5	9,32	84,70	0,244
10	9,94	90,33	0,239
25	10,83	98,37	0,260
50	11,55	104,92	0,277
100	12,32	111,90	0,296

## 5.8 CURVAS CHUVA-VAZÃO GERADAS PELO PIHMGIS

Para gerarmos as curva de chuva vazão inicialmente exportou-se os dados de altimetria que constava no banco de dados do SPRING para o PIHMGis. Por meio desses dados, que estão na forma de Digital Elevation Map (DEM), o programa gera uma malha triangular irregular (TIN) como mostra a Figura 20.



**Figura 20– Malha triangular Ribeirão Cambezinho**

No modelo do tipo TIN, as superfícies topográficas foram modeladas por meio de conjunto de triângulos contínuos e não sobrepostos definidos no plano XY e com vértices apoiados nas projeções horizontais de pontos com coordenadas (planimétricas e altimétricas) conhecidas e dispostos irregularmente por forma a caracterizar as singularidades topográficas das superfícies a modelar.

A partir dos modelos digitais do relevo foram gerados os modelos das redes de drenagem, constituídos por redes descontínuas de elementos lineares retilíneos - segmentos de reta correspondentes a arestas comuns a triângulos contíguos dois a dois e a que se atribuiu a designação de arestas coletoras - que promovem a captação e o transporte longitudinal para jusante das aflências provenientes de montante sob a forma de caudais concentrados nas extremidades das arestas coletoras ou uniformemente distribuídos ao longo das mesmas.

Em seguida foi necessário delimitar um período de tempo que será realizada a análise da curva. Esse período pode variar de 0 a 365 dias. Para isso, o fator preponderante para a escolha do período de estudo foi a precipitação e consequentemente a umidade do solo da bacia.

Sendo assim, a fim de aproximarmos nosso modelo da realidade, adotou-se uma condição média de umidade cuja precipitação antecedente ao período de análise foi de 40 mm em cinco dias.

Um intervalo de 0 a 14 dias (duas semanas) foi suficiente para nossa análise, onde os dois primeiros dias a precipitação de 0 mm, nos cinco dias seguintes seria de 8 mm por dia (totalizando os 40 mm descritos anteriormente) e o dia de análise seria o dia 7 inserindo as precipitações de interesse, deixando um intervalo do dobro desse tempo para observarmos a trajetória da curva de chuva-vazão. Excluindo os valores mencionados o restante dos dados de precipitação inseridos foi igual a zero.

A representação obtida anteriormente no SPRING do uso e ocupação do solo, tipos do solo e geologia foi de suma importância para a modelagem da bacia, portanto são exportados do SPRING e importados para o banco de dados do PIHMgis. Assim o PIHMgis realizou a sobreposição desses dados com os dados inseridos anteriormente.

Em seguida, foram introduzidos arquivos que caracterizam tanto a tipologia do solo quanto a geologia, indicando a quantidade de argila, silte e matéria orgânica dessas variáveis (Tabela 6).

**Tabela 6– Composição do tipo de solo e geologia**

<b>Tipo do solo</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>	<b>Bibliografia</b>
<b>Latossolo</b>	12	74	1,35	ROCHA, 1995
<b>Nitossolo</b>	37,7	55,4	1,84	SILVA et al, 2009
<b>Neossolo</b>	36.2	47.7	1.45	KUMMER et al, 2010
<b>Geologia</b>	11.9	81.9	1.35	SOUZA e CELLIGOI, 2011

Neste mesmo banco de dados foram introduzidos dados referentes ao tipo de ocupação do solo, obtidos no site da U. S. Environmental Protection Agency (EPA) e estão demonstrados no Quadro 5:

**Quadro 5 – Tipo de uso e ocupação do solo**

Classificação	Tipo	Característica
11	Água	Todas as áreas de água com entorno com menos de 25% de vegetação
23	Desenvolvido (Média densidade)	Inclui áreas com uma mistura de construção e vegetação. Superfícies impermeáveis responsáveis por 50-79 % da cobertura total. Essas áreas mais comumente incluem unidades habitacionais unifamiliares.
30	Solo Exposto	Áreas caracterizadas por rocha nua, silte, argila ou outro material, com pouca ou nenhuma vegetação presente
42	Área verde	Áreas dominadas por árvores geralmente superiores a 5 metros de altura, e mais de 20% da cobertura total de vegetação. Mais de 75 por cento das espécies de árvores mantêm suas folhas durante todo o ano

O programa realiza o cruzamento desses dados com os dados do mapa de uso e ocupação dos solos adicionados anteriormente ao programa.

Por último é inserido um arquivo em formato de bloco de notas contendo duas colunas, cuja primeira refere-se ao tempo, em frações de dia, e a segunda coluna são inseridas as variáveis climáticas da bacia estudada. As unidades das variáveis estão expressas no Quadro 6.

**Quadro 6 – Variáveis utilizadas**

Variáveis	Unidade
Precipitação	metros/dia
Temperatura	Celsius
Umidade relativa	valores menores que 1
Velocidade do vento	metros/dia
Radiação Solar	Joules/dia
Pressão de vapor	hPa
LAI / RL	Empírico

Como dito anteriormente, o presente trabalho visou apenas o período de duas semanas para seu estudo, sendo que os dados das variáveis foram zerados nos dois primeiros dias e também após o dia 7, até finalizar o período de interesse. As variáveis necessárias são:

- Precipitação

Com uma condição de umidade pré definida de 40 mm em 5 dias de chuva, bastou dividir esse valor para encontra a quantidade que choveu durante cada dia.

$$\text{Quantidade de chuva (mm/dia)} = \frac{40 \text{ mm}}{5 \text{ dias}} = 8 \text{ mm/dia} \quad (21)$$

Os valores de precipitação no dia 7 estão de acordo com a equação da intensidade da precipitação (Equação 9), e os resultados podem ser observados na Tabela 5.

Como essa intensidade de precipitação foi calculada para um período de 545,33 minutos (tempo de concentração), ou seja, aproximadamente 9 horas os dados de precipitação foram inseridos apenas nas primeiras 9 horas do dia 7, zerando assim os valores restantes.

- Temperatura

Os dados de temperatura foram obtidos no site do IAPAR, o PIHMgis identifica o dado de temperatura como o valor total da media anual dividido pelos intervalos de tempo. Sabendo que existem 24 intervalos, e a temperatura média foi de 21,2°C, os valores adicionados ao bloco de notas foi de 0,8839°C.

- Umidade relativa

A umidade relativa, nos dias onde não houve precipitação obedeceu a média da cidade de Londrina de 65%. No dia chuvoso (dia 7) essa umidade relativa passou a ser considerada 98% devido a uma maior quantidade de gotículas de chuva presente na atmosfera.

- Velocidade do vento

A velocidade do vento também está de acordo com a média anual da cidade de Londrina. Essa média é de 206640 m/d. Pelo fato da unidade da velocidade do

vento já estar em dias, não foi preciso dividir pelo intervalo de tempo, e sim, repetir para todos os intervalos.

- Radiação solar,

A radiação solar de 17316000 J/dia foi obtida no site Solar Energy (2013). Este valor também não precisou ser dividido, e foram zeradas as horas noturnas.

- Pressão de vapor

Os dados de pressão foram diários, obtidos no site do IAPAR, para a cidade de Londrina.

- Índice de área foliar (Leaf Area Index – LAI) e Rugosidade (Roughness Length – RL)

Os dados de LAI e RL variam de acordo com o uso e ocupação de solo, e forma calculados de acordo com as tabelas obtidas em Mapped monthly vegetation data (2013) e Smithsonian Environmental Research Center (2013).

- Fator de derretimento (considerado igual a zero).

Para calibração do modelo e também a verificação com a bibliografia da vazão do Ribeirão Cambezinho foi gerado apenas um único gráfico, sem nenhum valor de precipitação no dia 7, apenas com valores de precipitações para deixar o solo suficientemente úmido.

Segundo Mangili (2013), a vazão do ribeirão Cambezinho na saída da barragem, ou seja, aproximadamente metade do ribeirão é de 0,946 m<sup>3</sup>/s.

Logo por meio da modelagem de uma chuva na condição II de 8 mm durante o dia 2 ao dia 6 sem nenhum pico de chuva para não haver interferência no escoamento superficial da bacia, deveríamos obter um gráfico cuja vazão se aproximaria ao dobro do valor obtido na bibliografia.

Porém, como visto na Figura 21, o valor do pico da precipitação obtido pelo modelo computacional foi de aproximadamente 40000 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 0,463 m<sup>3</sup>/s, valor muito abaixo do que se pretendia.

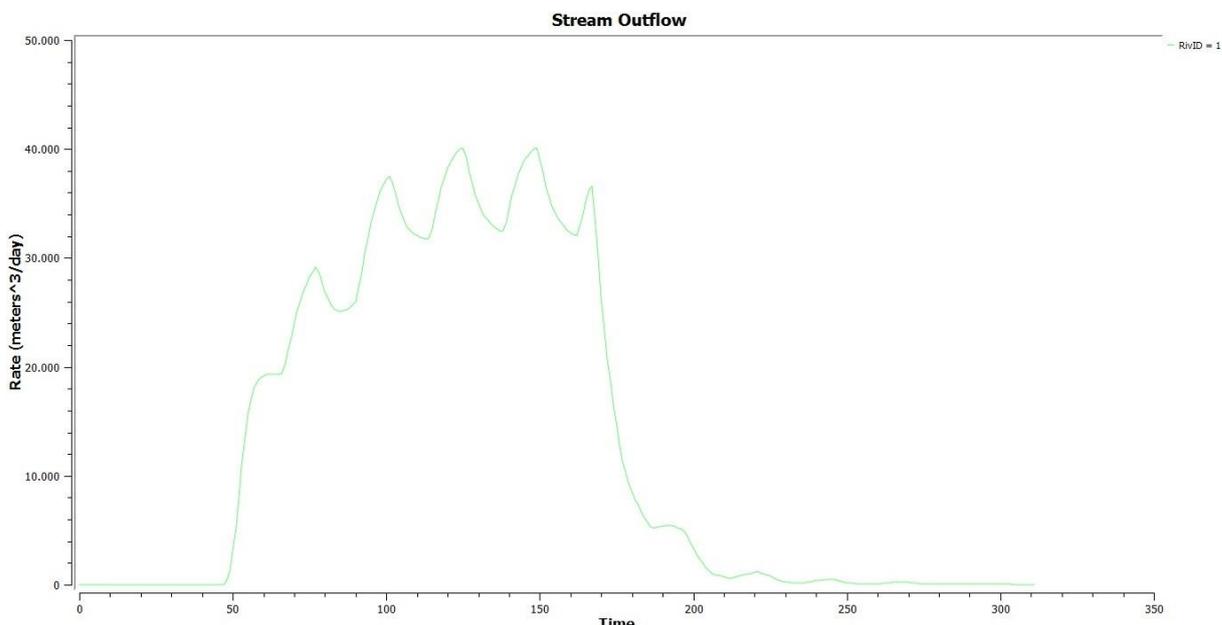


Figura 21 – Calibração da curva com precipitação de 8 mm diário durante 5 dias.

Com isso foi elaborado uma nova curva com uma condição de umidade que considera que o solo está praticamente saturado e choveu muito nos 5 dias anteriores a tormenta. Essa condição assume uma precipitação de 80 mm durante os 5 dias, sendo que para cada dia foram inseridas no programa uma precipitação de 16 mm (Figura 22).

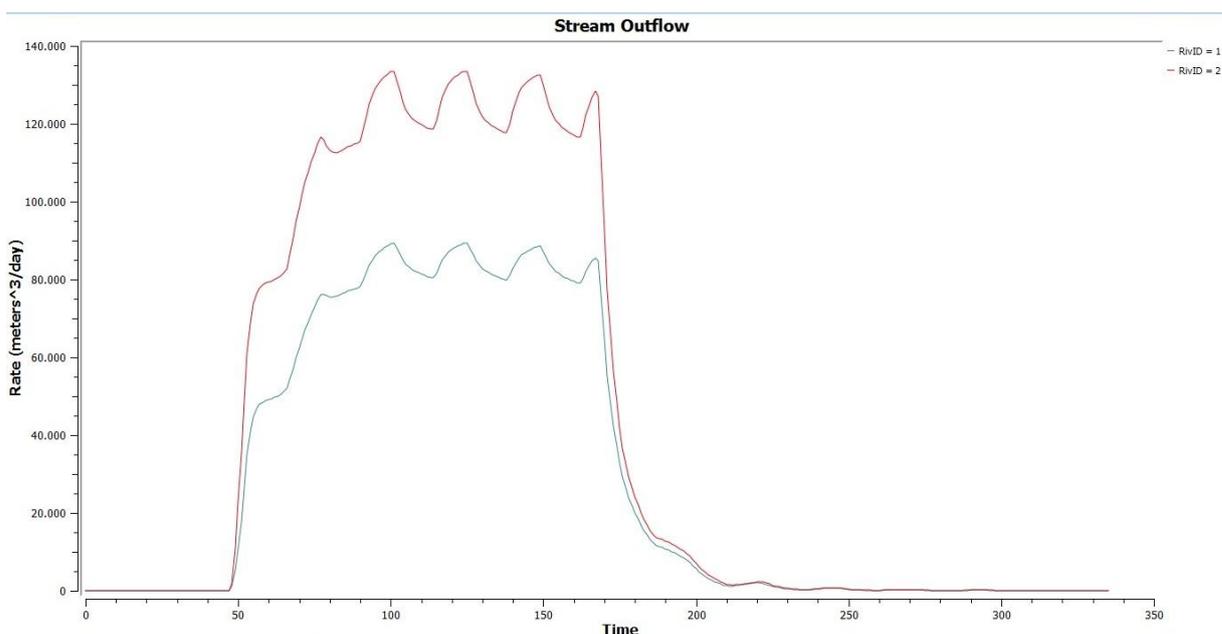


Figura 22 – Calibração da curva com precipitação de 16 mm diárias durante 5 dias.

A Figura 22 difere da Figura 21 pelo fato de possuir duas curvas sendo que o primeiro existia apenas uma. A existência de duas curvas é explicada pelo fato de que o programa divide a bacia em dois trechos, uma trecho na metade da bacia (RivD1) e outro sendo a bacia inteira (RivD2).

Se adotarmos que a metade da bacia seria próxima a barragem e observando a curva RivD1 o valor máximo de vazão é de aproximadamente 90000 m<sup>3</sup>/dia que corresponde a 1,041 m<sup>3</sup>/s, valor muito próximo ao encontrado as medições realizadas por Mangili (2013).

Com o modelo calibrado, foram geradas todas as outras curvas correspondentes aos respectivos tempos de retorno (Figura 23).

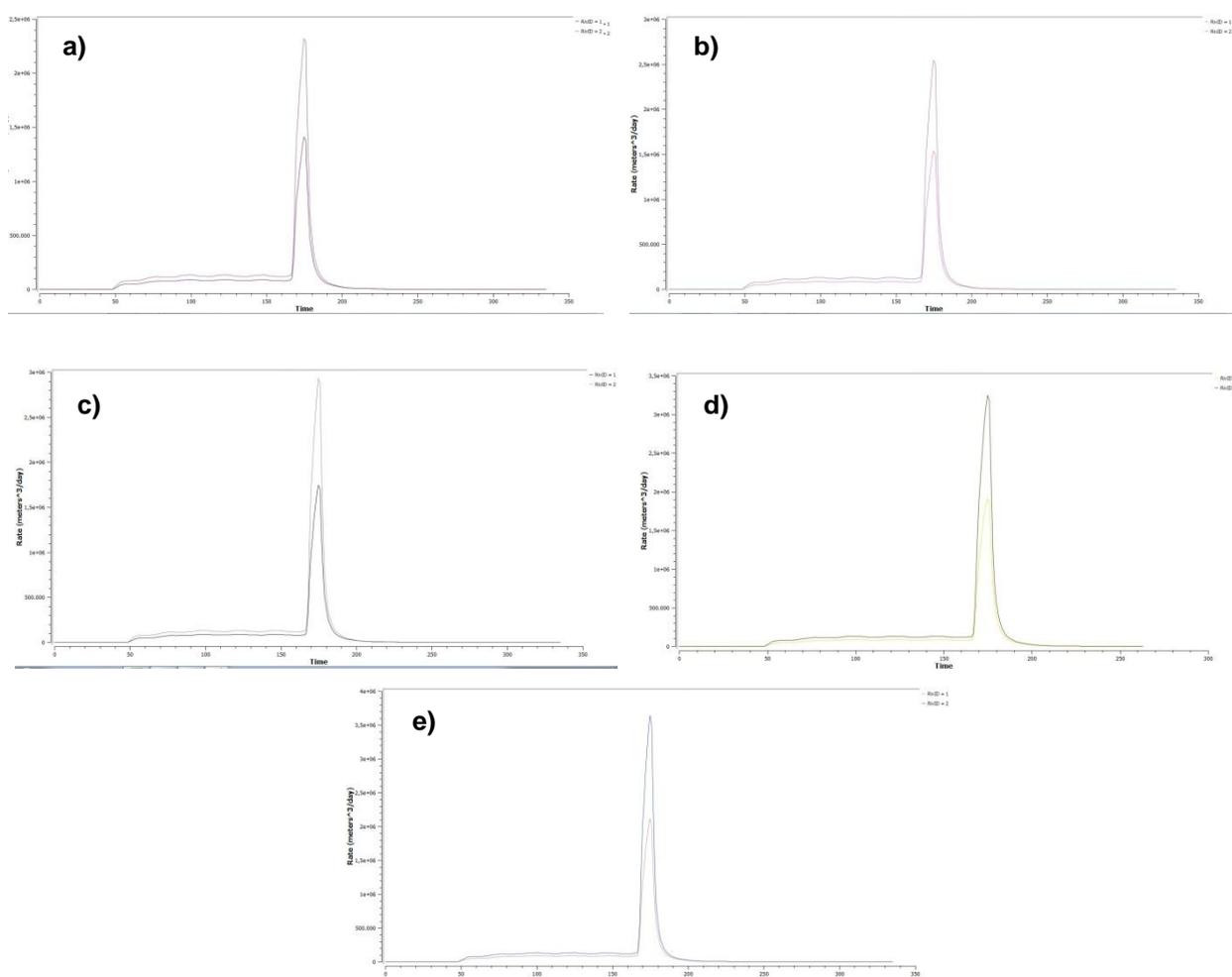


Figura 23 – Curva de chuva-vazão para o tempo de retorno de a) 5 anos; b) 10 anos; c) 25 anos; d) 50 anos; e) 100 anos

A curva de interesse é a de escoamento total da bacia representado nos gráficos como RivD2. Adotando que todas as curvas possuíam mesmo escoamento base que foi obtido na calibração, foi possível elaborar dois triângulos que ultrapassam os valores desse escoamento base. Sendo assim para calcular a porcentagem que foi escoada do total precipitado, dividiu-se o pico do escoamento em dois triângulos e calculo-se a área desses (Figura 24).

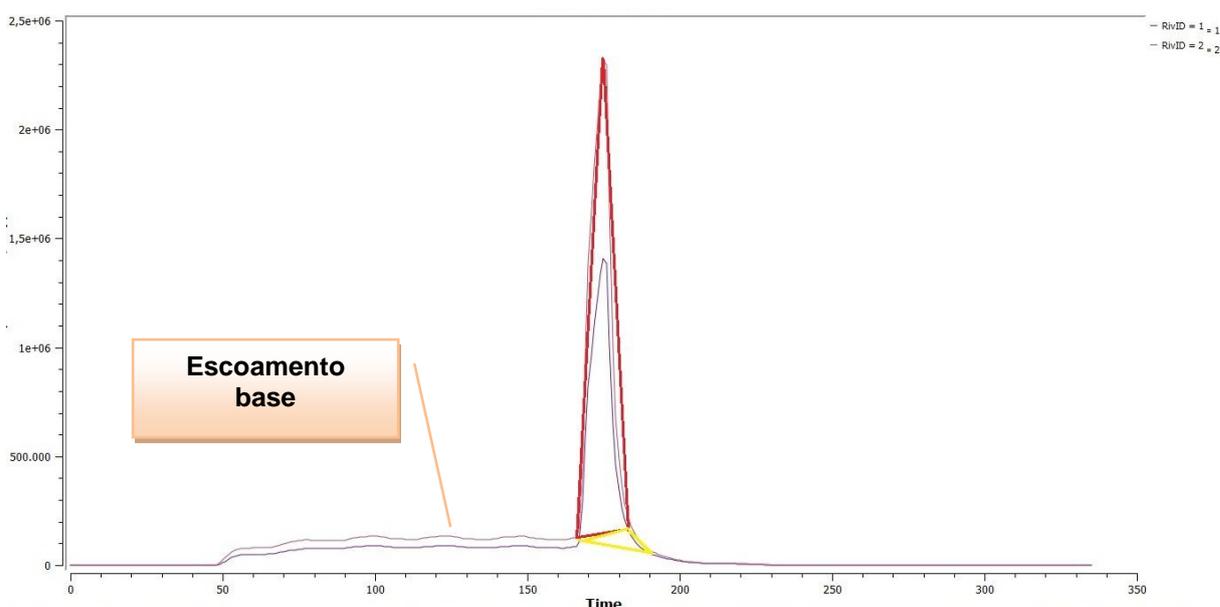


Figura 24 – Cálculo da área da curva com tempo de retorno de 5 anos, por meio de triângulos

A área do triângulo usada para todas as curvas é expressa pela seguinte equação:

$$\text{Área} = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2} \quad (22)$$

Pelo fato do valor do escoamento superficial ter sido expresso em  $\text{m}^3/\text{d}$  e o tempo da chuva em minutos a área dos triângulos traçados é expressa pela seguinte unidade:

$$A = \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \text{minutos}$$

Sendo que, dividindo o valor obtido pela quantidade de minutos em um dia, obteve-se o volume escoado das precipitações em análise.

Tendo o valor da intensidade da precipitação, o volume total foi calculado pela equação a seguir:

$$\text{Volume} = \text{Intensidade de Precipitação} \times \text{Tempo de concentração} \times \text{Área da bacia} \quad (23)$$

A taxa de escoamento runoff que é a porcentagem de água de chuva que foi escoada foi calculada dividindo o valor do volume escoado pelo volume total precipitado (Tabela 7).

**Tabela 7 – Calculo da taxa de escoamento**

<b>Intensidade de precipitação (m/d)</b>	<b>Volume Precipitado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume escoado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Taxa escoamento runoff (%)</b>
0,224	6264016	1012292	16,16
0,239	6683481	1136875	17,01
0,260	7270733	1310833	18,03
0,277	7746127	1448333	18,70
0,296	8277450	1631667	19,71

Analisando a Tabela 7 e os hidrogramas gerados pelo programa observou-se que os valores de vazões estimados assim como a taxa de escoamento apresentaram um comportamento esperado, aumentando de acordo com o aumento do período de retorno.

## 5.9 CURVAS DE CHUVA-VAZÃO GERADAS PELO MÉTODO DO SCS

Para elaboração do hidrograma unitário segundo o método do SCS é necessário calcular alguns elementos que interferem diretamente neste. Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa EXCEL. O primeiro a ser calculado é o CN.

O calculo do CN foi baseado no resultado da foto-interpretação da imagem de satélite. Na Tabela 3 estão os tipos de uso do solo, sua área, o correspondente em porcentagem e os valores de CN para os quatro grupos de solo de acordados anteriormente.

Pelo fato de haver vários tipos de uso de solo tornam-se necessário o calculo da média ponderada dos valores listados. Pela equação 13 calcula-se o valor de CN (vide equação 24):

$$CN_m = 0,4510 \cdot 83 + 0,3267 \cdot 79 + 0,2133 \cdot 70 \quad (24)$$

$$CN_m = 78,18$$

Feito isso, pelas equações 11 e 12 calcula-se o armazenamento e as perdas iniciais da bacia do Cambezinho.

$$S = 70,89 \quad I_a = 14,18$$

Com esses resultados e com os valores de precipitação total obtidos anteriormente (Tabela 5), é realizado o cálculo da precipitação efetiva para cada tempo de retorno (Tabela 8), por meio da equação 8.

O cálculo da vazão de pico da bacia é feito pela equação 16:

$$q_p = 15,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

Porém esse valor é para uma precipitação de 1 cm. Assim, por meio da equação 17 os valores correspondentes a vazão de pico para sua respectiva precipitação efetiva é expresso na Tabela 8.

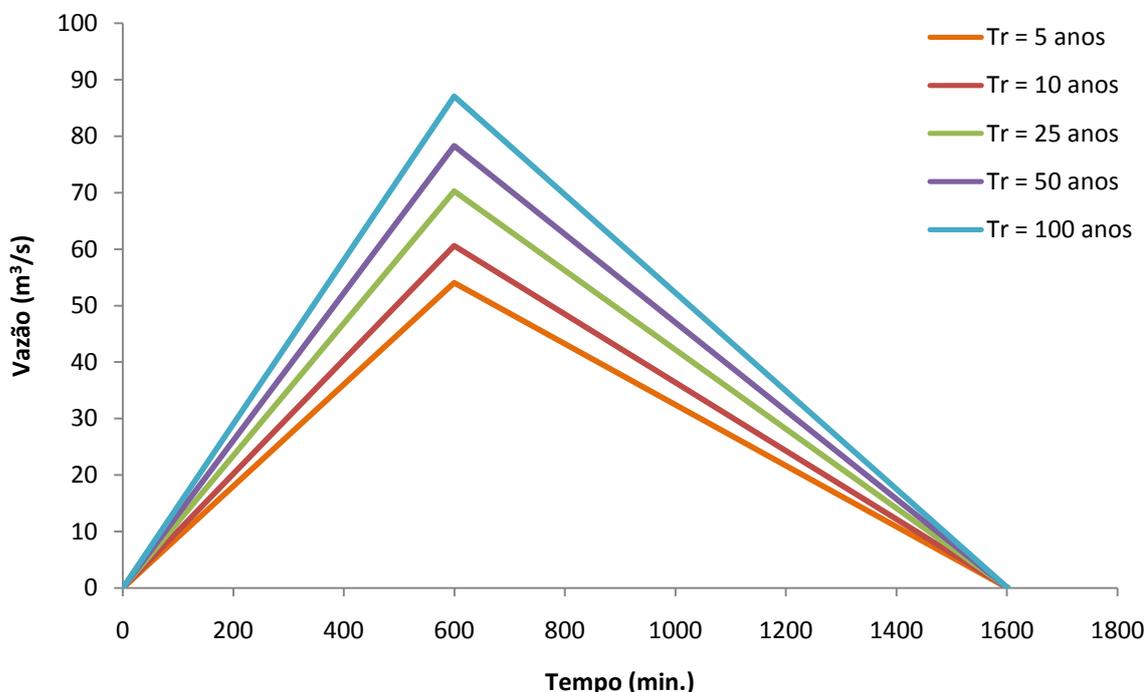
**Tabela 8 – Precipitação efetiva (mm) e vazão de pico (m<sup>3</sup>/s)**

Tempo de retorno (anos)	Precipitação Efetiva (mm)	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)
5	35,16	54,04996
10	39,44	60,62341
25	45,70	70,25277
50	50,94	78,30241
100	56,74	87,06089

Outro parâmetro importante para a elaboração do hidrograma corresponde ao eixo das abscissas e está relacionado com o tempo da precipitação. O tempo de pico, onde a vazão assume seu maior valor foi calculado pela equação 14.

$$T_p = 600 \text{ min.}$$

Com os dados obtidos anteriormente podemos então traçar as curvas de chuva-vazão correspondente (Figura 25).



**Figura 25 – Hidrograma unitário SCS**

No hidrograma da Figura 25 notou-se que a maior vazão corresponde a um tempo de retorno de 100 anos cujo valor é de 87 m³/s. A vazão é diretamente proporcional ao tempo de retorno, sendo que a menor vazão está relacionada a um menor tempo de retorno (5 anos) e a maior vazão está relacionada com um maior tempo de retorno (100 anos).

Na Figura 25 observou-se que os valores totais escoados aumentam em função do período de retorno, um resultado coerente com a estrutura da equação que representa a curva IDF (equação 9), visto que as intensidades da precipitação, para uma mesma duração de chuva, são diretamente proporcionais ao acréscimo do período de retorno.

Resultados desta natureza permitem verificar que o hidrograma de projeto depende, concomitantemente, de diversas variáveis, como a precipitação, uso e tipo de solo, capacidade de infiltração do mesmo, tempo de resposta da bacia hidrográfica para uma mesma entrada de chuva, dentre outros, e como a metodologia empregada na estimativa da chuva de projeto é apenas uma das variáveis envolvidas e vem imbuída de questionamentos, desde McPherson (1958),

o qual ponderou sobre o uso das relações IDF obtidas a partir de registros pluviográficos, que representam a média de chuva de determinada duração, e não a história real do evento, o que altera os resultados e avaliações dessas relações.

Outra ponderação a ser feita se refere ao modelo de escoamento superficial utilizado que considera, em sua estrutura, a precipitação e as características do solo quanto à sua condição hidrológica, ou seja, o binômio infiltração-escoamento superficial. Neste método, o parâmetro CN (curva número) é o que representa a capacidade de infiltração do solo da bacia hidrográfica, caracterizada pela umidade antecedente do solo, o tipo do solo e a ocupação do mesmo. Morel-Seytoux (1987) faz algumas críticas ao método, o qual diverge da teoria física da infiltração em que, para um solo saturado, a taxa de infiltração decresce com o tempo, independentemente da chuva. O autor observa que o método do SCS produz uma curva decrescente da infiltração somente para uma taxa de chuva constante, e ainda aponta falhas na estimativa das abstrações iniciais referentes à estimativa da taxa de interceptação e ao armazenamento nas depressões do solo

## 5.10 CURVAS DE CHUVA-VAZÃO GERADAS PELO MÉTODO DE SNYDER

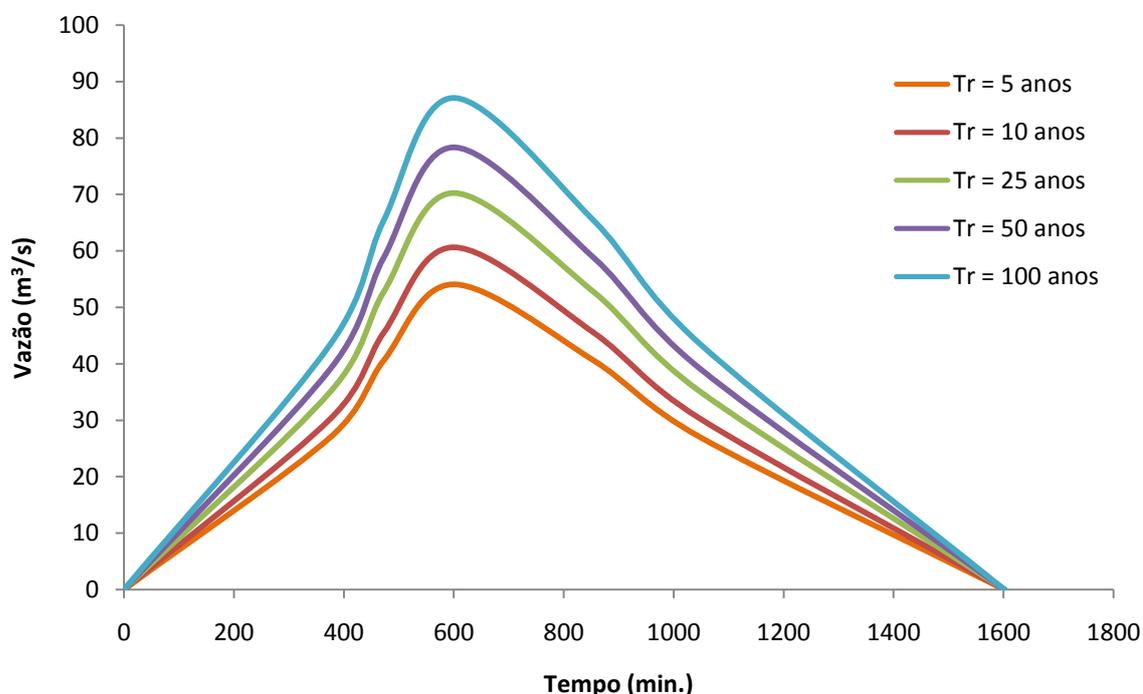
Para a elaboração das curvas de chuva-vazão segundo o método de Snyder os parâmetros utilizados foram o tempo e a vazão de pico, ambos fornecidos no item anterior.

O tempo de pico possui o valor de 600 minutos. Já os valores da vazão de pico podem ser observados na Tabela 8. Utilizando o Quadro 3 e com o auxílio do programa EXCEL obteve-se todas as variáveis para se traçar o hidrograma unitário de Snyder. Essas variáveis são expressas na tabela a seguir:

**Tabela 9 – Resultado das variáveis do hidrograma unitário de Snyder**

Tempo (min)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)				
	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100
0	0	0	0	0	0
376,10	27,02	30,31	35,13	39,15	43,53
472,30	40,54	45,47	52,69	58,73	65,30
599,86	54,05	60,62	70,25	78,30	87,06
855,00	40,54	45,47	52,69	58,73	65,30
1047,40	27,02	30,31	35,13	39,15	43,53
1601,64	0	0	0	0	0

Com os valores definidos, o hidrograma unitário segundo o método de Snyder foi elaborado para cada tempo de retorno correspondente



**Figura 26 – Hidrograma unitário de Snyder.**

O hidrograma de Snyder não difere muito do hidrograma do SCS, apenas no fato de que os valores calculados para o arredondamento das retas nos permite uma maior precisão dos valores de vazão da precipitação em um determinado tempo.

No hidrograma da Figura 26 notou-se que, a maior vazão corresponde ao tempo de retorno igual a 100 anos cujo valor é de 87 m³/s. Os valores de vazão são diretamente proporcionais ao tempo de retorno, sendo que, a menor vazão corresponde a um tempo de retorno de 5 anos e a maior vazão a um tempo de retorno de 100 anos.

### 5.11 INDICE DE INFILTRAÇÃO PHI ( $\Phi$ )

Para se obter o índice de infiltração phi ( $\Phi$ ) primeiramente deve-se calcular o volume total precipitado de acordo com a equação 18.

O volume total do escoamento superficial também é necessário para se obter o volume infiltrado de água pluvial. O valor do volume escoado está indicado na Tabela 7.

Sabendo o volume total da precipitação e o volume do escoamento superficial, encontrou-se a quantidade de água infiltrada, sendo que esta é a diferença entre o volume total precipitado e o volume escoado (Tabela 10).

**Tabela 10 – Volume infiltrado**

Tempo de retorno	Volume Total da Precipitação (m <sup>3</sup> )	Volume de escoamento superficial (m <sup>3</sup> )	Infiltração (m <sup>3</sup> )
5	6264016	1012292	5251724
10	6683481	1136875	5546606
25	7270733	1310833	5959899
50	7746127	1448333	6297793
100	8277450	1631667	6645783

O índice phi ( $\Phi$ ) é então calculado de acordo com a equação 20 e expresso na Tabela 11.

**Tabela 11 – Índice de infiltração  $\Phi$**

Tempo de retorno	$\Phi$ (mm/h)
5	14,50
10	15,29
25	16,44
50	17,37
100	18,33

De acordo com Pruski (1997), em um solo do tipo latossolo, semelhante ao da bacia estudada, porém com cobertura de solo predominantemente vegetal, e um período de retorno de 10 anos, a taxa de infiltração da água é de 45 mm/h.

Barcelos (1996), por meio de mini-simuladores de chuva determinou que a taxa de infiltração da água, em um solo do tipo latossolo coberto com cultura de milho, foi de 49 mm/h

Os valores obtidos pelo índice de infiltração  $\Phi$  foram comparados com a literatura e assim pode-se afirmar que a capacidade de infiltração da bacia do Ribeirão Cambezinho está muito baixa. Essa situação ocorre pelo fato da bacia do

Cambezinho estar muito urbanizada, impedindo assim a infiltração da água da precipitação no solo, mostrando que grande parcela dessa água é escoada.

Não existe uma variação significativa entre os tempos de retorno, sendo que em qualquer período a taxa de infiltração é baixa quando comparada com outras referências.

## 5.12 COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS

Após a obtenção dos valores máximos das vazões segundo o cenário proposto, podemos organizar a Tabela 12.

**Tabela 12 – Comparação entre metodologias para cálculo de vazão máxima**

Tempo de retorno (anos)	Vazões máximas (m <sup>3</sup> /s)		
	Modelo Computacional (PIHMgis)	Metodologia SCS	Plano municipal de Saneamento Básico de Londrina (2008)
5	27	55	-
10	30	61	80
25	34	71	-
50	38	79	115
100	42	87	121

Os valores calculados para as vazões máximas pelo método de Snyder foram omitidos da tabela, pois são os mesmos calculados pelo método do SCS.

Os valores de vazão máxima, quando comparado o método do SCS com o modelo computacional, variam tendendo a uma diferença de quase o dobro entre as metodologias. Isso pode ser explicado pelo fato do modelo computacional possuir uma forma de cálculo diferente do modelo adotado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina e do SCS. Isto também pode ter ocorrido devido a diferentes tempos de concentração adotados no modelo do Plano Municipal pela empresa executora. Porém demonstra uma tendência de adoção de valores elevados para projeto de vazão máxima em modelos simples. Os valores gerados pelo modelo, aparentemente possuem uma precisão melhor por conter uma gama

de informações maior e pelo fato de estar próximo a valores medidos por Mangili (2013) na calibração de base.

Se comparados os valores obtidos, tanto o método computacional quanto o SCS, ambos distorciam muito dos resultados obtidos no Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina (2008).

## 6 CONCLUSÃO

Esse estudo teve como proposta a elaboração de hidrogramas unitários por diferentes metodologias e sua análise em comparação a estudos realizados no ribeirão Cambezinho em Londrina – PR.

A partir dos hidrogramas gerados, conclui-se que, a metodologia computacional nos fornece dados mais exatos quando comparada a metodologias manuais. Tal afirmação foi baseada na evidencia de que no momento da calibração, os valores computacionais se aproximaram das metodologias experimentais.

Esse fato pode ser explicado, pois a metodologia computacional utiliza grande quantidade de informações para gerar o hidrograma unitário. Diferente das metodologias usuais que são restritos a algumas variáveis.

As vazões máximas obtidas nesse estudo diferenciam consideravelmente do Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina (2008), possivelmente pelo fator de serem utilizados diferentes tempos de concentração.

Portanto, pela precisão da metodologia computacional, a mesma pode auxiliar consideravelmente em uma melhor elaboração do diagnóstico de saneamento básico de Londrina-PR assim como de diagnósticos municipais por todo o Brasil, pois o método computacional não depende de variáveis que são limitadas para cada região, ele pode ser facilmente adaptado para as características dos municípios.

Pela quantidade de área construída na bacia, a taxa de infiltração da mesma se encontra em quantidades menores do que poderia estar ocorrendo, bem como pela saturação do solo inserida no modelo.

Sendo assim, embora seja um trabalho com um enfoque comparativo, seus resultados colaboram com a discussão a cerca do planejamento urbano e do controle de inundações, e indica que esses dois aspectos são indissociáveis.

Um melhor planejamento urbano faz com que a urbanização em torno das bacias hidrográficas seja feita de forma adequada para permitir maior infiltração da água no solo e conseqüentemente um menor escoamento superficial diminuindo assim a tendência da bacia à infiltrações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTER/GDEM. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer/Global Digital Elevation Map. Disponível em: <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>> Acesso em 12 de jan. de 2013.

ARNOLD, Chester L.; GIBBONS, James C. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal of the American Planning Association**, [S.l.], 1996. Disponível em: <<http://www.planning.org/abstracts/details.asp?Num=1632>>. Acesso em: 23 set. 2011.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, José. **Conservação Do Solo**. – São Paulo: Ed. Ícone, 1990.

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.

BREZONIK, P. L.; STADELMANN, T. H. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. **Water research**, v. 36, n. 7, p. 1743-57, abr. 2002.

CARVALHO Daniel F., SILVA Leonardo D. B. **Apostila de Hidrologia**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap4-PPT.pdf>>. Acesso em 20/02/2013.

CAMPOS, José N. B. **Lições em modelos e simulações hidrológicas**. Fortaleza: ASTEF/Expressão Gráfica, 2009. 166 p.

CAPONERA, Dante A. **Principles of water law and administration: national and international**. Rotterdam: Balkema, 1992. 260p.

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

CENTENO, Jorge A. S. et al. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Curitiba, v. 55, n. 1, p. 48-56, 2003.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1999, 236 p.

CIRILO, José. A.; MENDES, Carlos A. B. **Geoprocessamento em recursos hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

COLONIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO NORTE DO PARANÁ. Publicação comemorativa do cinquentenário da Companhia Melhoramentos Norte do Paraná. Depoimentos, 1975, p. 61.

COSTA, Teixeira da; LANÇA, Rui. **Capítulo I: Hidrologia de Superfície**. Área Departamental De Engenharia Civil Núcleo de Hidráulica e Ambiente da Escola Superior de Tecnologia Universidade do Algarve, Portugal, 2001.

COSTA, H. B.; ROSSI M.; COELHO R. M. **Mapa de impermeabilização do solo da bacia do ribeirão das Anhumas, Campinas-SP**. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 05 a 09 de set. de 2005. USP.

CRED – **Center of Research on the Epidemiology of Disaster**. EM – DAT: The International Disaster Database, 2012. Disponível em: <<http://www.emdat.be/database>>. Acesso em 24 de jan. de 2013.

DNIT - Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes, 2005. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Publicação IPR-715. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

DRENURBS, 2013. **Programa de Recuperação Ambiental do Município de Belo Horizonte. Prefeitura de Belo Horizonte**. Disponível em:<[http://www.pbh.gov.br/scomurbe/sudecap/smeu/drenurbs/relatorios/publico/drenurbsmetodologia\\_adotada\\_nos\\_estudos\\_hidrologicos\\_e\\_hidraulicos.doc](http://www.pbh.gov.br/scomurbe/sudecap/smeu/drenurbs/relatorios/publico/drenurbsmetodologia_adotada_nos_estudos_hidrologicos_e_hidraulicos.doc)> Acesso em 24 de jun. de 2014.

DECINA, Thiago G. T. **Análise de medidas de controle de inundações a partir da avaliação de cenários de uso e ocupação de solo na bacia hidrográfica do córrego do Gregório, São Carlos – SP**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos – SP, 2012. 176 p.

DOZENA, Alessandro. **São Carlos e seu desenvolvimento: contradições urbanas de um polo tecnológico**. 2001. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Hidrologia urbana – Capacitação tecnologia e transferência de tecnologia em drenagem urbana**, 2003.

FENDRICH, Roberto. **Tópicos de Hidrologia e Hidráulica em Obras Hidráulicas de Combate à Erosão Urbana**. cap.4 In: Drenagem Urbana. Curitiba, Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade Católica do Paraná, 1984. p.113 – 175.

\_\_\_\_\_. **Canais de Drenagem em Pequenas Bacias Hidrográficas**. 1ª. ed. Curitiba: Autor e Editor do Livro, 2008. v. 500. 121 p

FONTES, Andréa R. M.; BARBASSA, Ademir P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, p. 137-147, 2003.

FRANCO, Edu J., 2004. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR.

FREITAS, V. A. L.; RIBEIRO, M. G., CENTENO J. A. S. **Análise temporal e quantitativa da impermeabilização dos solos através de imagens LANDSAT e CBERS na cidade de Curitiba/PR**. In Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2006, Florianópolis. Anais... Campos do Jordão: COBRAC/UFSC, 2006. P. 1-8.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L.W. Digital elevation model issues in water resources modeling. **ESRI, USERS CONFERENCE, 19**. San Diego, 1999.

GERMANO, Andréa TUCCI, Carlos E. M.; SILVEIRA, Andréa L. L., 1998. Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para Algumas Bacias Urbanas Brasileiras. **RBRH**, V3, N4, p. 103-120.

GUTIERREZ, Lorena A. R. et al. Mapeamento temporal dos índices: Área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbanizada de Campo Grande - MS. **Caminhos de geografia**, p. 269-288, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=411370&search=parana|ondrina>> Acesso em 12 de jan. de 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. **Imagens do satélite LANDSAT 5**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em 13 de fev. de 2013.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>> Acesso em 13 de Fe. De 2013.

JUSTINO, Eliane A.; PAULA, Heber de M.; PAIVA, Ed C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem da água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, v. 13, n. n°2, p. 16-38, 2011.

KOHLER, Max A., RICHARDS, Mercedes M. Multi-Capacity Basin Accounting for Predicting Runoff from Storm Precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, 1992, p. 5187-97.

LIMA, J. M. de. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavas (MG)**. 1987. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

LIMA, Walter P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 242 p.

LONDRINA. Secretaria de Planejamento do município de Londrina. **Plano municipal de saneamento básico do município de Londrina**. Londrina, Pr. 2008.

LONDRINA. Lei Municipal n. 1794 de 2 de março de 1971.

MACHADO, Walquíria; COVALINE, Ana. P.; STIPP, Nilza A. F. Avaliação de impactos ambientais através de matriz de interação na Gleba Palhano - Londrina-PR. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, p. 8280-8295, 2005.

MANGILI, Fernanda Bezerra. Qualidade da Água do Lago Igapó I em Londrina – PR. 2013. 118 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina 2013.

Mapped Monthly Vegetation Data. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/web/web.veg.monthly.table.html>> Acesso dia 20 de julho de 2013.

MATA-LIMA, Herlander et al. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 3, set. 2007.

MAIA Ana L., AMARAL, Iara R., VERSIANI, Bruno R. Metodologia DPFT de Identificação do Hidrograma Unitário e das Precipitações Efetivas: Estudo de Caso para a Bacia Hidrográfica de Juatuba – MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**.v.11, nº 1. Jan/Mar 2006.

MAIDMENT, D.R. GIS and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. **Environmental modeling with GIS**. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 14, p. 147-167.

McPherson, M. B. Discussion of synthetic storm pattern for drainage design. **Journal of the Hydraulics Division**, v.84, n.1, p.49-60, 1958.

Morel-Seytoux, H. J. Multiphase flow in porous media. In: **Developments in Hydraulic Engineering**. London: Pavel Novak, Elsevier Applied Science Publishers, 1987. p.103-174.

MRLC. Multi-Resolution Land Characteristics Consortium. Disponível em: <<http://www.epa.gov/mrlc/definitions.html#2001>> Acesso em 25 de jun. de 2013.

ODUM, Eugène. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988, 432 p.

PAULA, Rubia G. de. **A verticalização na Gleba Palhano – Londrina - PR**: Uma análise da produção e consumo da habitação. 2006. Monografia (Bacharelado em Geografia) UEL, Londrina.

PEREIRA JUNIOR, E. R.; SILVA, Jorge X.; GÓES, M. H. B.; OLIVEIRA, W. J. **Geoprocessamento aplicado à fiscalização de áreas de proteção legal: o caso do município de Linhares-ES**; In.: SILVA J. X.; ZAIDAN R. T. Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap.3, p.115-141.

PIHM. **PennState Integrated Hydrologic Modeling System**. Disponível em :<[http://www.pihm.psu.edu/pihmgis\\_home.html](http://www.pihm.psu.edu/pihmgis_home.html)> Acessado dia 12 de janeiro de 2013

PINTO, Nelson L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976

PORTO, Rubem L. L., FILHO K. Z., MARCELLINI, S. S. **Apostila de Hidrologia Aplicada**: Hidrograma unitário. Escola politécnica USP. São Paulo, 1999.

PORTO, Rubem L. L., FILHO K. Z., SILVA, R. M. **Apostila de Hidrologia Aplicada**: Bacias Hidrográficas. Escola politécnica USP. São Paulo, 1999.

PORTO, R.; ZAHEL, K.; TUCCI, Carlos; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2009

PRUSKI Fernando F. et al. **Infiltração da água num latossolo roxo**. Pesq. Agropecuária bras. Brasília, v. 32, n. 1, p 77-84, jan. 1997.

QGIS. **Quantum GIS**. Disponível em <<http://www.qgis.org>> Acessado em: 12 de fevereiro de 2013.

SOLAR ENERGY. **Média de radiação solar de Londrina**. Disponível em: <<http://www.solarenergy.com.br/>> Acessado dia: 23 de julho de 2013.

REIS, Luis. F. R., 2009. **Capítulo 4: Escoamento Superficial**. Notas de Aula.

RENNÓ, Camilo D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica**: Aplicação a bacias hidrográficas. São José dos Campos: INPE, 2003.

RIBEIRO, Rochele A.; AYMONE, José L. F.; LEÃO, Simone Z. Aplicação do geoprocessamento no estudo da impermeabilidade urbana. **IX Encontro de Modelagem Computacional**, 2006.

SANTOS, Irani dos. et al. 2001. **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba-Pr. 372p

SANTOS Luciana. C. C. **Estimativas de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. Universidade Federal do Espírito Santo. 2010.

SCHUELER, T. R. The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 100- 111, 1994.

SHEAFFER, Jonh R. **Urban storm drainage management**. New York: M. Dekker, 1982. 271 p.

SHIMBA, Otávio Y.; UREN, Flávio H. R. **Londrina cidade cenário**. Londrina, Midiograf, 1999.

SILVA, B. C.; COLIISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos. E. M. **Simulação da bacia do Rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB – IPH**. São Luis. ABRH, v.1, p. 1 – 22, 2005.

SILVEIRA, Alexandre L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p 35-51.

**Smithsonian Environmental Research Center**. Disponível em: <<http://www.pihm.psu.edu/EstimationofVegetationParameters.htm>> Acessado dia 20 de julho de 2013.

SOUZA. C.G., et al. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.

TASSI Rutinéia; COLLISCHONN Walter. **Notas de ala de hidrologia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

TUCCI Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH. 2009.

\_\_\_\_\_. **Água doce: água no meio ambiente**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997

\_\_\_\_\_. A necessidade do planejamento de drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES D. M. L. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. Cap. 7.1, p. 499-502.

VASCONCELOS, Gustavo B. Londrina Pioneira e sua paisagem jardim. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DA IMAGEM, 2., 2009, Londrina. **Anais...** Londrina. Editora Universidade Estadual de Maringá, 2009.

VILLAÇA, Flávio. Uma construção para a história do planejamento urbano no Brasil, in DEAK, C. e SCHIFFER, S. R. **O processo de urbanização no Brasil**. São Paulo, FUPAM/EDUSP, 1999.

VILLELA, Swami M.; MATOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. p. 237