

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA**

**NATÁLIA ESTEVES CARVALHO**

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO NO  
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS:  
UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE  
CAMPINAS**

**CAMPINAS**

**2019**

**NATÁLIA ESTEVES CARVALHO**

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO NO  
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS:  
UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE  
CAMPINAS**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana - CEATEC da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Profa. Dra. Sueli do Carmo Bettine

**PUC-CAMPINAS**

**2019**

Ficha catalográfica elaborada por Andréa Ribeiro Alves Bonfim CRB 8/6973  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

711.4  
C331

Carvalho, Natália Esteves

Desenvolvimento de baixo impacto no manejo de águas pluviais urbanas: uma proposta para o município de Campinas / Natália Esteves Carvalho. - Campinas: PUC-Campinas, 2019.

131 f.: il.

Orientador: Sueli do Carmo Bettine.

Dissertação (Mestrado em Sistema de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Planejamento urbano - Aspectos ambientais - Campinas (SP). 2. Drenagem urbana. 3. Biotopo Area Factor (BAF). I. Bettine, Sueli do Carmo. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

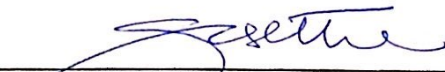
CDD - 22. ed. 711.4

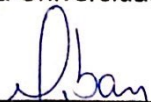
**NATÁLIA ESTEVES CARVALHO**

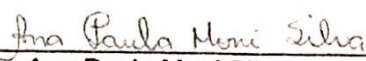
**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO NO MANEJO  
DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS: UMA PROPOSTA  
PARA O MUNICÍPIO DE CAMPINAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Sueli do Carmo Bettine.

Dissertação defendida e aprovada em 3 de dezembro de 2019 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Sueli do Carmo Bettine  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rodrigo Custódio Urban  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ana Paula Moni Silva  
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

A minha mãe, Fátima, exemplo de vida e profissão, que sempre esteve ao meu lado, em todos os momentos. Também, quero homenagear meus avôs, Regina e Nelson, que não mediram esforços para me ajudar nessa etapa tão importante da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

À Profa. Dra. Sueli do Carmo Bettine, pela orientação, confiança, incentivo, colaboração, paciência, amizade e amor ao que faz.

À minha mãe, Fátima, por acreditar em mim e participar da minha educação, além de todo amor e apoio dados ao longo destes anos.

Aos meus avós, Nelson e Regina, que sempre vibraram com as minhas conquistas e estavam sempre dispostos a me ajudar.

Ao meu noivo, Bruno, pela sua companhia, confiança, paciência, companheirismo, incentivo, colaboração e amigo sincero em todos os momentos.

Aos pais do meu noivo, Deyse e José Luis, que caminham comigo ao longo destes anos participando de todas as conquistas e vencendo as dificuldades, especialmente pelas palavras sinceras e pela consideração comigo.

Aos professores que colaboraram com minha pós-graduação e meu crescimento interpessoal.

E, acima de tudo, em especial, a Deus, meu guia, minha fortaleza e minha proteção.

“A cidade está fadada a ser tanto o palco de conflitos crescentes, quanto o lugar de gerar soluções.”

Milton Santos, 1994.

## RESUMO

CARVALHO, Natália Esteves. *Desenvolvimento de baixo impacto no manejo de águas pluviais urbanas: uma proposta para o município de Campinas*. 2019. 131f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019.

O processo de urbanização e a ocupação desordenada do espaço urbano promovem impactos ao sistema natural, como a impermeabilização dos solos e a supressão de áreas verdes, que afetam diretamente os regimes fluviais em bacias urbanas causando um aumento da variável “escoamento superficial” durante os períodos de chuva, com aceleração da velocidade da água e o aumento dos volumes que chegam aos canais. Este trabalho tem por objetivo adaptar o método alemão *Biotope Area Factor* (BAF) como uma prática de desenvolvimento de baixo impacto (LID), aplicada ao município de Campinas-SP, especificamente, para duas bacias críticas. Para tanto, são estimados os valores existentes dos coeficientes de escoamento superficial, estabelecendo-se a relação entre o volume precipitado e a capacidade de infiltração das águas das chuvas para os diferentes tipos de superfícies e, dessa forma, são propostas medidas de intervenção utilizando-se a metodologia BAF. Os resultados indicam que a implantação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) adaptadas para o método BAF no planejamento urbano é possível, apresentando vantagens urbanísticas, ambientais e hidrológicas sob os sistemas de desenvolvimento convencionais, tais como aumento das áreas permeáveis e das áreas de cobertura vegetal. Com isso, conseqüentemente tem-se a redução da vazão de pico e do volume de escoamento superficial das áreas objeto de estudo.

Palavras-chave: planejamento ambiental urbano, *biotope area factor* (BAF), drenagem urbana, práticas LID e coeficiente de *run off*.



# ABSTRACT

CARVALHO, Natália Esteves. *Low impact development in urban storm water management: a proposal for the city of Campinas*. 2019. 131f. Dissertation (Master in Urban Infrastructure Systems) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019.

*The urbanization process and the disorderly occupation of urban space promote impacts on the natural system, such as soil sealing and the suppression of green areas, which directly affect river basin regimes in urban basins causing an increase in the variable “runoff” during periods. with accelerating water velocity and increasing volumes reaching the canals. This work aims to adapt the German Biotope Area Factor (BAF) method as a low impact development practice (LID), applied to the city of Campinas-SP, specifically, for two critical basins. Therefore, the existing values of the runoff coefficients are estimated, establishing the relationship between the precipitated volume and the rainwater infiltration capacity for the different surface types and, therefore, intervention measures are proposed using if the BAF methodology. The results indicate that the implementation of low impact development techniques (LID) adapted to the BAF method in urban planning is possible, presenting urban, environmental and hydrological advantages under conventional development systems, such as the increase of permeable areas and areas. of mulch. As a result, there is a reduction in peak flow and surface runoff volume of the areas under study.*

*Key words: urban environmental planning, biotope area factor (BAF), urban drainage, LID practices and run off coefficient.*

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação de uma bacia e sub-bacia hidrográficas.....	26
Figura 2. Componentes do telhado verde e suas funções.....	48
Figura 3. Estrutura de um jardim de chuva.....	49
Figura 4. Jardim de chuva na cidade de Filadélfia.....	50
Figura 5. Estruturas do pavimento permeável.....	51
Figura 6. Seção tipo de um pavimento permeável.....	52
Figura 7. Trincheira de infiltração em um canteiro central.....	53
Figura 8. Corte de uma bacia de infiltração típica.....	54
Figura 9. Tipologias de Infraestrutura Verde na escala do lote residencial.....	55
Figura 10. Telhado verde de Seewasserwerk Moos - em Wollishofen, Zurique, Suíça....	58
Figura 11. Elementos presentes no Plano Grey to Green.....	59
Figura 12. Retenção de águas pluviais por mês do telhado verde aplicado ao edifício Hamilton West (Portland).....	60
Figura 13. Telhado verde do Edifício Marques dos Reis, no Centro do Rio de Janeiro. ...	61
Figura 14. Construção de trincheiras de infiltração pelas ruas do bairro Brooklyn-NY.....	62
Figura 15. North Street antes (em cima) e depois (abaixo) do projeto de implantação dos jardins de chuva.....	63
Figura 16. Jardins de chuva na Plainfield Avenue, na cidade de Grand Rapids, Michigan. .....	64
Figura 17. Paradigma dos quatro universos.....	66
Figura 18. Visão geral do Plano Paisagístico de Berlim: existente e com planejamento BAF. .....	69
Figura 19. Localização dos pontos críticos de alagamento e inundação.....	73
Figura 20. Dados de curva de nível obtidos pela imagem SRTM de relevo.....	82
Figura 21. Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).....	85
Figura 22. Representação triangular de um hidrograma de enchente.....	86
Figura 23. Mapas das áreas objeto de estudo.....	89
Figura 24. Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Córrego Piçarrão.....	90
Figura 25. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Córrego Ribeirão Anhumas....	91
Figura 26. Mapa dos pontos críticos de inundação da microbacia do Córrego Piçarrão, de acordo com o Plano Diretor Estratégico (2017).....	92

Figura 27. Mapa dos pontos críticos de inundação da bacia do Córrego do Ribeirão Anhumas, de acordo com o Plano Diretor Estratégico (2017). .....	93
Figura 28. Mapa das áreas de drenagem dos pontos críticos de inundação localizados na microbacia do Córrego Piçarrão. ....	94
Figura 29. Mapa das áreas de drenagem dos pontos críticos de inundação localizados na bacia do Córrego do Ribeirão Anhumas. ....	95
Figura 30. Mapa do grau de impermeabilização do solo das áreas de estudo. ....	96
Figura 31. Gráficos com a distribuição do grau de impermeabilização do solo das áreas de estudo. ....	97
Figura 32. Grau de impermeabilização do solo para cada área de drenagem dos pontos de inundação da microbacia do córrego Piçarrão. ....	98
Figura 33. Grau de impermeabilização do solo para cada área de drenagem dos pontos de inundação da bacia do córrego Ribeirão Anhumas. ....	99
Figura 34. Padrão de ocupação da microbacia do córrego Piçarrão .....	105
Figura 35. Padrão de ocupação da bacia do córrego Ribeirão Anhumas .....	106
Figura 36. Verticalização da bacia do córrego Ribeirão Anhumas. ....	106
Figura 37. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial exemplo 1, localizado na área da bacia do Ribeirão Anhumas. ....	108
Figura 38. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial exemplo 2, localizado na área da microbacia do Piçarrão. ....	109
Figura 39. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso comercial, padrão nas duas áreas objeto de estudo. ....	110
Figura 40. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial, padrão de edifícios nas duas áreas objeto de estudo. ....	111
Figura 41. Grau de impermeabilização dos lotes das áreas de drenagem da microbacia do córrego Piçarrão antes e depois das propostas de BAF. ....	114
Figura 42. Grau de impermeabilização dos lotes das áreas de drenagem da bacia do córrego Anhumas antes e depois das propostas de BAF. ....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores do coeficiente de escoamento superficial (“run off”).....	32
Tabela 2. Fonte dos dados geoespaciais levantados para o diagnóstico da microbacia do córrego Piçarrão e da bacia do córrego Ribeirão Anhumas, Campinas/SP. ....	77
Tabela 3. Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra.....	78
Tabela 4. Mapeamento dos pontos críticos de inundações de macrodrenagem no Município de Campinas.....	79
Tabela 5. Coeficiente volumétrico de escoamento C.....	81
Tabela 6. Tempo de retorno em função do tipo de obra. ....	83
Tabela 7. Classificação de áreas de acordo com o Fator de Ponderação. ....	87
Tabela 8. Valores alvo de BAF.....	88
Tabela 9. Dados de área do grau de impermeabilização do solo das áreas objeto de estudo. ....	96
Tabela 10. Classificação simplificada do coeficiente de escoamento superficial adaptado do método de I-Pai-Wu, para o sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra - DataGeo, 2013.....	97
Tabela 11. Tempo de concentração (tc) e intensidade de cada área de drenagem da microbacia do Córrego Piçarrão e bacia do Córrego Ribeirão das Anhumas. ....	100
Tabela 12. Coeficiente de escoamento superficial (C) calculado para cada parcela das áreas de drenagem. ....	101
Tabela 13. Valores de Kd para cada tempo de concentração (tc) de cada área de drenagem.....	102
Tabela 14. Vazões máximas (m <sup>3</sup> /s) de cada área de drenagem, de acordo com os pontos críticos de inundação. ....	102
Tabela 15. Coeficiente de escoamento superficial estipulado pós BAF (C <sub>BAF</sub> ), calculado para cada parcela das áreas de drenagem .....	113
Tabela 16. Vazões máximas Q'máx. (m <sup>3</sup> /s) de cada área de drenagem, após as propostas de BAF para cada ponto crítico de inundação. ....	116
Tabela 17. Percentual de abatimento das vazões Q <sub>máx.</sub> e Q'máx. (m <sup>3</sup> /s) de cada área de drenagem.....	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	–	Associação Brasileira de Cimento Portland
APP	–	Área de Preservação Permanente
BAF	–	<i>Biotope Area Factor</i>
BMP	–	<i>Best Management Practices</i>
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEE	–	Departamento de Águas e Energia Elétrica
ETE	–	Estação de tratamento de Esgoto
HU	–	Hidrograma Unitário
LID	–	<i>Low Impact Development</i>
LabSid	–	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos
MDT	–	Modelo Digital do Terreno
NRCS	–	<i>National Resources Conservation Service</i>
<i>Run off</i>	–	Escoamento superficial
SCS	–	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	–	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	–	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SWMM	–	<i>Storm Water Management Model</i>
US EPA	–	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVO .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E O PLANEJAMENTO.....	19
3.2. O PROBLEMA DAS ENCHENTES E INUNDAÇÕES EM CENTROS URBANOS.....	21
3.3. BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO.....	26
3.4. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....	28
3.5. A CONCEPÇÃO DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.....	35
3.6. DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO - LID .....	40
3.7. EXPERIÊNCIAS NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS BASEADAS EM LID .....	56
3.8. USO DO GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS .....	65
3.9. MÉTODO BAF – <i>BIOTOPE AREA FACTOR</i> .....	68
3.10. CONTROLE DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE CAMPINAS.....	70
4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS OBJETO DE ESTUDO.....	73
4.1. MICROBACIA DO CÓRREGO PIÇARRÃO .....	74
4.2. BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS .....	74
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	76
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	89
6.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	89
6.2. PONTOS CRÍTICOS DE INUNDAÇÃO .....	92
6.3. ÁREAS DE DRENAGEM.....	94
6.4. GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO .....	96
6.5. CÁLCULO DAS VAZÕES DE PICO .....	100
6.6. APLICAÇÃO DO BAF .....	103
6.6.1. PADRÃO DE OCUPAÇÃO DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIÇARRÃO .....	104
6.6.2. PADRÃO DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO RIBEIRÃO ANHUMAS.....	105
6.7. PROPOSTAS DE BAF .....	107
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	118
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121

## 1. INTRODUÇÃO

A formação dos centros urbanos decorre de um processo chamado urbanização, um conjunto de técnicas e de obras que permitem dotar uma cidade, ou área de uma cidade, de condições de infraestrutura, planejamento, organização administrativa e embelezamento conforme os princípios do urbanismo (MOREIRA, 2016).

Na medida em que as cidades foram crescendo, houve uma diminuição tanto em quantidade como em qualidade dos espaços verdes remanescentes, restando apenas fragmentos dispersos de massa vegetal sem conectividade com o tecido urbano. Tal condição resulta em perda da qualidade de vida da população, não apenas como necessidade sociocultural, mas como elemento natural estratégico que atenda às necessidades de manter e/ou restabelecer as dinâmicas naturais dos fluxos hídricos e bióticos do ecossistema urbano (BENINI, 2015).

O avanço do processo de urbanização provoca mudanças na ocupação e no uso do solo, o que determina novas características para o sistema de drenagem natural e modifica o ciclo hidrológico local. A supressão da vegetação e a impermeabilização de grandes áreas aumentam o volume e a velocidade das águas pluviais que escoam sobre as ruas, o que acaba definindo novos caminhos para o escoamento superficial (BAHIENSE, 2013).

O planejamento urbano, segundo Bahiense (2013), considera elementos como transporte, saneamento, habitação, cultura, educação e saúde, fundamentais para o funcionamento adequado da cidade. A drenagem, importante componente do sistema de infraestrutura urbana, pode intervir consideravelmente na vida da comunidade, caso ocorram falhas em sua estrutura, projeto e/ou gestão.

De acordo com Santos (2014), a relação entre o desenvolvimento e a drenagem no meio urbano, leva à necessidade de se desenvolver estratégias que ofereçam condições de controle e reversão dos efeitos da degradação socioambiental, como no caso das inundações urbanas e das ocupações irregulares em áreas de preservação.

Assim, a abordagem americana de *Low Impact Development* (LID, denominado no Brasil por *Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto*) surge na década de 1980 como uma estratégia de manejo de águas pluviais através do planejamento multidisciplinar integrado de práticas de tratamento e controle em

pequena escala para mimetizar o comportamento hidrológico natural em configurações residenciais, comerciais e industriais (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Tal estratégia avançou como um sistema de infraestrutura, com ênfase na utilização de ecossistemas naturais, por meio de conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação. Aplicações desta abordagem são encontradas em várias regiões dos Estados Unidos, do Canadá e da Europa, sendo capaz de atender aos critérios estabelecidos em certificações ambientais para edificações quando devidamente empregadas (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Como uma prática adaptada de desenvolvimento de baixo impacto, a metodologia alemã *Biotope Area Factor* (BAF) foi desenvolvida para formular e estipular padrões ecológicos com a função de proteger e potencializar a qualidade ambiental dos diversos tipos de uso de infraestrutura de uma determinada área. Os primeiros estudos que levaram ao estabelecimento da metodologia BAF basearam-se nos princípios de desenvolvimento urbano, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais na área central da cidade de Berlim.

Para tal, devem ser formulados requisitos para melhorar a situação ecológica mantendo-se a utilização urbana presente, isto é, estabelecer medidas para proteger e desenvolver o ecossistema com a função de potencializar a qualidade ambiental local. De acordo com o Plano de Paisagem<sup>1</sup> de Berlim - Alemanha, um dos objetivos básicos da política de desenvolvimento urbano era reduzir os impactos existentes na área central da cidade, buscando melhorar a situação ecológica e promover o desenvolvimento de áreas de biótopos (BAF), de modo que a utilização urbana não fosse afetada (RICHARD, 1990).

O BAF formula metas e medidas básicas para promover o desenvolvimento urbano de alta qualidade no que diz respeito ao ecossistema e proteção de biótopos e espécies, compondo a aparência da paisagem e o uso recreativo, como uma abordagem particular para garantir as "qualidades verdes" (RICHARD, 1990).

A partir disso, o presente trabalho pretende auxiliar na previsão e controle dos impactos ambientais causados pela urbanização, integrando recursos tecnológicos através de uma modelagem de dados espaciais associada à

---

1 Por Plano de Paisagem entende-se, de acordo com definições de Kozová e Misíková (2008), como uma disciplina integradora em relação ao ordenamento do território, arquitetura paisagística, desenvolvimento regional e gestão da paisagem. No Brasil é comum utilizarmos o termo Planejamento Ambiental, ao invés de Plano de Paisagem.



aplicação, que considere a ocupação humana e impermeabilização do solo, como forma de permitir a estimativa das áreas suscetíveis a inundações e os efeitos da impermeabilização do solo no aumento das enchentes em áreas urbanas, calculando-se o coeficiente *run off* (coeficiente de escoamento superficial) antes e depois da aplicação do método BAF.

## **2. OBJETIVO**

Esse trabalho de pesquisa tem como objetivo propor a aplicação do método alemão BAF (*Biotope Area Factor*) adaptando-o como uma ferramenta para o planejamento de práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), para duas bacias hidrográficas urbanizadas dentro do Município de Campinas-SP que se apresentam como críticas quanto a episódios frequentes de alagamentos e enchentes. E, dessa forma, avaliar a aplicabilidade de tal proposta metodológica, considerando-se possíveis intervenções para políticas públicas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E O PLANEJAMENTO**

O intenso processo de urbanização ocorre na segunda metade do século XX com a concentração da população em determinadas áreas produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais, principalmente solo e água, comprometendo parte da biodiversidade local. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, os quais, sem o devido controle podem causar transtornos às cidades (TUCCI, 2008).

O crescimento da população e a expansão urbana são processos naturais sobre os quais não se têm completo controle (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017). A questão que permeia o tema do planejamento ambiental sobre o meio urbanizado tem sido constantemente abordada e debatida, frente ao contexto de degradação ambiental provocado pelo avanço da urbanização. As cidades brasileiras têm se caracterizado por um crescimento que não viabiliza desenvolver formas de integração entre o meio ambiente urbanizado e o natural (SANTOS, 2014).

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano sustentável tem como objetivo melhorar a qualidade de vida da população, na medida em que qualidade de vida somente é possível em um meio ambiente conservado que atenda às necessidades da população, onde garantir a harmonia do homem com a natureza torna-se essencial.

Dessa forma, planejamento é o conjunto de ações integradas, coordenadas e orientadas empregadas para diagnosticar a realidade, avaliar as perspectivas e estruturar medidas a serem executadas considerando prazos e espaços. O ato de planejar sempre esteve associado à evolução da cultura humana, de enfrentar seus problemas, procurando sempre a melhor alternativa para a sua resolução (PHILIPPI JR. *et al.*, 2005).

O planejamento envolve dados de diagnóstico, tomadas de decisões, definições de cenários e ações futuras, incluindo-se metas e prioridades como parte de um processo ordenado sujeito à riscos e incertezas. Tal processo não termina com a implantação de um projeto, pois deve-se sempre avaliar e monitorar, sendo ajustado às necessidades que vão aparecendo. O planejamento pode ser

específico para diversos setores: econômico, cultural, urbanístico, agrícola, ambiental, dentre outros, de forma que todos eles se mantem interdisciplinares (BETTINE *et al.*, 2012).

No entanto, o planejamento é imprescindível, sobretudo, no manejo das águas pluviais urbanas que é parte essencial de qualquer desenvolvimento que garanta a qualidade de vida da população (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017).

Devido à urbanização sem planejamento o solo é exposto a uma diversidade de problemas, principalmente a impermeabilização, impedindo que a água das chuvas infiltre, acentuando os problemas da erosão urbana e aumentando os picos de cheia, como consequência a recarga de água nos solos é reduzida, o que diminui a disponibilidade de água nos períodos de baixa precipitação (SANTOS, 2016).

O solo é o suporte dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a terra, seu estudo é imprescindível para o planejamento. Quando se analisa o solo, pode-se deduzir sua potencialidade e fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como concentrador de impactos (SANTOS, 2004).

O uso e ocupação do solo é uma das mais importantes análises do planejamento urbano, uma vez que é através dela que se determina e orienta o modo como as atividades humanas estão distribuídas no meio (BETTINE *et al.*, 2012). A ocupação do espaço urbano, sem o planejamento adequado que incorpore as diversas infraestruturas necessárias ao desenvolvimento equilibrado da cidade, desencadeou o surgimento de diversos problemas, principalmente de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade.

Com a expansão territorial, sem uma legislação e uma fiscalização que garantissem o ordenamento adequado quanto a distribuição do uso e ocupação do solo, os problemas de alagamentos e inundações foram se intensificando em função da planialtimetria da cidade e do grau de impermeabilização da área de drenagem (RIGHETTO, 2009).

A partir da década de 80 a expressão “planejamento ambiental” passou a ser debatida como forma de orientar as ações antrópicas mediante a capacidade de suporte oferecida pelos ecossistemas, buscando atingir o desenvolvimento equilibrado do local, assim como a manutenção da qualidade do ambiente físico,

biológico e social (SANTOS, 2014). O planejamento ambiental busca equilibrar a relação entre o homem e meio ambiente, de modo a promover a conservação dos recursos naturais e manter a qualidade de vida humana.

Dentre os impactos negativos sobre as águas urbanas, pode-se destacar: a sobrecarga no sistema de drenagem urbana por meio do aumento da impermeabilização do solo e da diminuição da infiltração; perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando a sua quantidade e velocidade de escoamento; escassez e a diminuição da qualidade dos recursos hídricos; e acúmulo de resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem, obstruindo-os e, com isso, ocasionando transbordamentos em períodos de chuva (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017).

Segundo Benini (2015), um dos grandes desafios a ser superado pelo planejamento e gestão urbana refere-se à conciliação entre a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento urbano. Isso leva à necessidade de desenvolvimento de estratégias que ofereçam condições de controle ou reversão dos efeitos da degradação socioambiental, como no caso das inundações urbanas, cuja impermeabilização das superfícies e a canalização do escoamento, exigem o controle do escoamento na fonte.

É necessário o amparo de princípios, diretrizes e normas para conciliar todos esses aspectos do uso e ocupação do solo, cujos importantes instrumentos de orientação devem ser as políticas federais, estaduais e municipais. Nestas últimas, destacam-se: o Plano Diretor Municipal, zoneamento e leis ambientais e de parcelamento do solo.

### **3.2. O PROBLEMA DAS ENCHENTES E INUNDAÇÕES EM CENTROS URBANOS**

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Segundo Reis (2015), a expansão dos centros urbanos nem sempre é acompanhada do desenvolvimento de infraestrutura adequada, de forma a prejudicar os sistemas de drenagem locais. Esta situação é agravada pela não observância das características naturais dos ambientes ocupados e da antropização da área devido

as alterações impostas ao espaço. Isto impossibilita que as áreas próximas aos rios e córregos efetivem o seu papel de zonas de amortecimento e absorção das inundações.

A inundação é um fenômeno natural que ocorre nos cursos de água em regiões urbanas e rurais. Ela consiste na elevação dos níveis de um curso d'água, seja este de pequena (córrego, riacho, arroio, ribeirão) ou de grande (rio) dimensão, podendo causar enchentes, ou seja, o transbordamento de água do canal principal. (SANTOS, 2007; BISPO e LEVINO, 2011). Inundações são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2018) em seu relatório de *Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2015*, classifica as terminologias de inundação e enchente da seguinte maneira:

- Inundação – é o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou a acumulação de água, por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas;
- Enchente – é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal (CASTRO, 1998). Nos períodos de estiagem ou de baixa pluviosidade, o baixo nível dos rios gera uma falsa sensação de segurança na população que, muitas vezes passa a ocupar o canal de drenagem dos rios. Contudo, no período das chuvas, o volume dos rios tende a variar e as suas águas passam a ocupar níveis maiores do seu leito natural, atingindo as habitações nas áreas ocupadas inadequadamente, gerando diversos impactos na população que ali habita.

Segundo Santos (2007) “quando o homem ultrapassa os limites das condições naturais do meio em que vive, as inundações passam a ser um problema social, econômico e/ou ambiental”. Assim, a inundação torna-se um evento catastrófico quando a área inundável não apresenta uma ocupação adequada como construção de residências nas áreas ribeirinhas. Ela pode ser provocada devido ao um excesso de chuvas ou uma obstrução que impediu a passagem da vazão de enchente, como por exemplo, um bueiro mal dimensionado ou entupido.

A urbanização tende a alterar o regime de produção nas bacias hidrográficas, devido a impermeabilização do solo que impede a infiltração da água, acentuando os problemas da erosão urbana e aumentando os picos de cheia. Enchente e cheia são sinônimos e representam o mesmo fenômeno. As enchentes ocorridas em pequenas bacias são chamadas popularmente de enxurradas e, se, ocorrem em áreas urbanas, elas são tratadas como enchentes urbanas (SANTOS, 2007).

As enchentes em áreas urbanas podem ser decorrentes de chuvas intensas de largo período de retorno; ou causadas por transbordamentos de cursos d'água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas. Esses impactos são consequências de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada: inundações em áreas ribeirinhas – as inundações naturais que atingem a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solos; e enchentes devido à urbanização – com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas, pátios, entre outros, dessa forma, a parcela de água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial (TUCCI, 1995).

As enchentes provocadas pelo adensamento urbano devem-se a diversos fatores, dentre os quais destacam-se: o excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies; a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas, áreas de inundação frequente e zonas alagadiças; a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos; e também as obras de drenagem inadequadas (PÔMPEO, 2000).

As inundações, como um dos principais e mais destrutivos acidentes hidrológicos, ocorrem quando a descarga do rio se torna elevada e excede a capacidade do canal, extravasando suas margens e alagando as planícies adjacentes, podendo ser regidos por fatores naturais, como chuvas intensas, que aumentam o nível d'água dos cursos fluviais; ou antrópicos, caracterizando as enchentes, devido a interferências de obras de engenharia no curso de água dos rios, aumento da impermeabilização do solo, ruptura de barragens, entre outros. Para evitar os prejuízos, diversas obras e medidas são realizadas no sentido de minimizar o efeito das enchentes, como a canalização dos rios, implantação de

reservatórios de retenção e barragens de contenção (RICCOMINI *et al.*, 2000; TUCCI, 2003).

A pavimentação de grandes áreas impermeabiliza o solo e aumenta a velocidade das águas superficiais. Esta é a causa principal das enchentes nas grandes cidades. Isso, associado à canalização dos córregos, faz com que a água da chuva que cai na cidade flua com mais rapidez para os corpos principais de água, que não conseguem dar vazão ao grande volume (BLANES, 2011).

No entanto, não é possível resolver por completo os problemas causados por estes eventos e, ainda, tais medidas podem acabar transferindo ou até agravando os problemas em outras áreas. Desta forma, a alternativa mais racional para minimizar o efeito das enchentes é o adequado planejamento da ocupação territorial, particularmente das áreas inundáveis, através da identificação de áreas de risco e de regras específicas para seu uso (TUCCI, 1995; RICCOMINI *et al.*, 2000).

Ainda, segundo Tucci (1995), a característica da cheia urbana é que ela apresenta um pico alto e pequeno volume, então se houver um reservatório, mesmo de pequeno volume, numa determinada área urbana, que faça parte de uma área pública ou mesmo de um condomínio, este será suficiente para reduzir a vazão máxima significativamente. Ou seja, o uso de dispositivos para o controle de cheia urbana, tais como o uso de pavimento poroso, armazenamento em telhados, pequenos tanques residenciais e poços subterrâneos, produzem a redução distribuída do efeito da urbanização.

Em razão da alteração do ciclo hidrológico aliada à falta de infraestrutura adequada e de um efetivo ordenamento de solo urbano, várias cidades brasileiras têm enfrentado o problema das inundações e enchentes urbanas, o que destaca a importância de se rever os atuais modelos de políticas urbanas de uso e ocupação do solo, principalmente as habitacionais e ambientais (BENINI, 2015).

Para Tucci e Genz (1995), os princípios básicos de controle de cheias urbanas são:

- A bacia hidrográfica como um sistema: estabelecer o controle da bacia hidrográfica urbana sobre a qual a urbanização se desenvolve e não de pontos isolados;



- As medidas de controle no conjunto da bacia: medidas estruturais e não-estruturais (preventivas) de forma integrada e compatibilizada com o desenvolvimento urbano;
- Os meios de implantação do controle de enchentes: o uso do Plano Diretor, as Legislações e um Manual de Drenagem (ou Plano de Drenagem Urbana);
- O planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas;
- O critério fundamental de não ampliar a cheia natural por aqueles que ocupam a bacia, tanto num simples loteamento como nas obras de macrodrenagem;
- O controle de enchentes é um processo permanente: atentar-se as potenciais violações da legislação no uso e ocupação do solo;
- A educação de profissionais da área, da população e do poder público é essencial para que as decisões sejam tomadas de forma responsável;
- A administração da manutenção do controle é um processo local e depende dos municípios por meio da aprovação de projetos de loteamentos, obras públicas e de drenagem;
- As normas brasileiras devem estar sempre atualizadas sobre a drenagem urbana, contemplando o controle da bacia e a manutenção da cheia natural nos projetos de drenagem urbana.

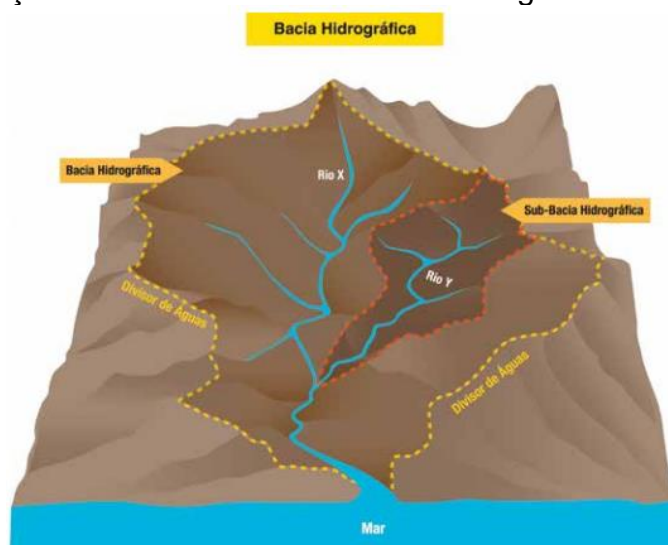
As enchentes, portanto, são consequências principalmente do crescimento não planejado dos municípios, resultado da urbanização de bacias hidrográficas antes “permeáveis”, e também devido a limitação dos dispositivos de drenagem, que são ou se tornam subdimensionados ao longo da vida útil dessas obras. Enchentes são problemas ambientais derivadas das inundações, fenômenos naturais, de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, intensificadas pelos efeitos negativos das ocupações urbanas e obras de engenharia inadequada (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

### 3.3. BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO

A integração de variáveis ambientais no planejamento urbano possibilitou a inclusão de novas alternativas de gerenciamento e avaliação do uso e ocupação do solo, destacando-se entre elas, a gestão por bacia hidrográfica (SCHUSSEL e NASCIMENTO NETO, 2015). As bacias hidrográficas são definidas por vários autores de formas semelhantes. Pinto *et al.* (1976) aponta que a bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso d'água é a área geográfica coletora de água da chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada.

Para Tucci (2000), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias, os volumes evapotranspirados e também os infiltrados profundamente. Gorski (2010) defini a bacia hidrográfica como “área, território dotado de declividade, que possibilita o escoamento das águas, que direta ou indiretamente se dirigem para um corpo de água central”, sendo fundamental para gestão e recuperação de mananciais e da própria paisagem urbana. Portanto, tal sistema é uma área de captação natural da água de precipitação da chuva que converge os escoamentos para um único ponto de saída denominado exutório (Figura 1).

Figura 1. Delimitação de uma bacia e sub-bacia hidrográficas.



Fonte: Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé (2015). Disponível em: <<http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>>. Acesso em 13 dez. 2018.

Para entender a bacia hidrográfica como unidade territorial, segundo Schussel e Nascimento Neto (2015), não se pode adotar o conceito clássico que a define apenas como a rede de drenagem e suas conexões, sendo necessário entendê-la como uma porção de espaço formada por um conjunto de elementos físicos, biológicos, sociais e políticos que interagem entre si, modificando todo o sistema. Por essas definições, a gestão urbana através das bacias hidrográficas atua como um instrumento de monitoramento do uso e ocupação do solo que, a partir de indicadores ambientais e antrópicos, avaliam a situação atual do território para propor intervenções adequadas ao planejamento.

Entende-se que as bacias hidrográficas devem ser adotadas como unidades geográficas de referência, estudo e gestão, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos naturais. Bevilacqua (2011), realiza um levantamento que relaciona a posição de países que possuem planejamento por bacia hidrográfica. Entre eles, destacam-se Alemanha, França e Brasil, por possuírem um planejamento abrangente incorporando outras dimensões, além dos recursos hídricos.

O conceito que se aplica ao gerenciamento de bacia hidrográfica estende-se às barreiras políticas tradicionais - sejam municipal, estadual ou federal e, em alguns casos, entre países - para uma unidade física de gerenciamento e desenvolvimento econômico e social. Para tanto, há de se ter integração entre os setores público e privado, a universidade e a população da área considerada (VILLAÇA e NASCIMENTO, 2008).

Todo curso d'água, por menor que seja, possui uma área de drenagem que capta a precipitação que incide sobre esta, direcionando-a para o leito principal, conforme a topografia e a geomorfologia do terreno. As bacias hidrográficas podem conter bacias menores, em uma subdivisão até se chegar aos cursos d'água menores, os pequenos rios e córregos. O tamanho da bacia na divisão depende do objetivo a que se propõe e, portanto, sendo a bacia hidrográfica uma unidade de planejamento deve-se considerar, na sua gestão, a conservação dos recursos hídricos, o controle do escoamento superficial e o disciplinamento do uso do solo.

Diante disso, a bacia hidrográfica é a unidade mínima para qualquer estudo hidrológico e é notória a recente intensificação das enchentes, tanto na frequência quanto na magnitude das vazões, suplantando a capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem urbanos. Esse aumento de eventos extremos é

possivelmente reflexo direto das variações climáticas e da urbanização mal planejada das bacias de drenagem (JACOMAZZI, 2015).

Logo, para o uso e ocupação de qualquer bacia hidrográfica urbana, deve-se atentar para as questões de percentuais de absorção, impactos nas áreas de várzea, preservação das APPs e soluções sustentáveis de drenagem para as águas das chuvas.

### **3.4. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

Os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, embora possam parecer suficientemente conhecidos, devido aos efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens, ainda há a necessidade de entendê-los mais profundamente. O estudo da Hidrologia é de suma importância pois compreende a coleta de dados básicos como, por exemplo, a quantidade de água precipitada ou evaporada e a vazão dos rios; a análise desses dados para o estabelecimento de suas relações e a influência de cada possível fator; além de possibilitar a aplicação dos conhecimentos alcançados para a solução de inúmeros problemas práticos (PINTO *et al.*, 1976).

O conhecimento sobre o regime de vazões de uma bacia hidrográfica é de extrema importância nos estudos hidrológicos. A utilização de modelos hidrológicos é uma forma comum para se obter dados sintéticos da vazão para uma dada área ou bacia específica. Nos estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana normalmente são adotados modelos matemáticos do tipo chuva x vazão que têm como objetivo estimar o deflúvio gerado por um evento de chuva em um sistema de drenagem qualquer, possibilitando definir os hidrogramas de projeto, que são definidos como o gráfico ou função que relaciona a variação da vazão no tempo. Os dados necessários para elaborar esses estudos compreendem fundamentalmente as características da bacia hidrográfica: sua impermeabilização, tempos de concentração, bem como as precipitações de projeto (CANHOLI, 2005).

As chuvas intensas ou precipitações máximas são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer a vazão de enchente de uma bacia (TUCCI, 1995). A partir dos dados de precipitação, observa-se que quanto maior a duração da chuva, menor é sua intensidade; e também que os

maiores valores de intensidade são menos frequentes. Estas relações podem ser traduzidas por curvas de intensidade-duração com determinada frequência (período de retorno).

O período de retorno é entendido como o tempo no qual um determinado evento hidrológico pode ser igualado ou excedido. A escolha do período de retorno de uma chuva de projeto significa assumir um risco aceitável para a obra desejada. Devem-se levar em conta os riscos envolvidos quanto à segurança da população e as perdas materiais, lembrando que quanto maior a segurança da obra, mais elevado o custo da mesma. As curvas também podem ser expressas por equações genéricas com a seguinte forma apresentada pela Equação (1) (BACK, 2002):

$$\text{Equação geral de chuva} \quad i = \frac{a \cdot Tr^B}{(t+c)^d} \quad (1)$$

Onde:

$i$  = intensidade (mm/h);

$Tr$  = período de retorno (anos);

$t$  = duração da precipitação (minutos);

$a, b, c$  e  $d$  = parâmetros específicos para cada localidade.

Para estimar a intensidade da precipitação é necessário conhecer-se o tempo de concentração da área em estudo, já que o mesmo é considerado igual à duração da precipitação máxima (BIDONE e TUCCI, 1995). Segundo Tomaz (2002), o tempo de concentração é o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial, ou seja, é aquele correspondente ao tempo que a gota de água, que cai no ponto mais distante da bacia, leva para atingir a seção em estudo, tempo este contado a partir do início da chuva.

Do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parcela atinge a seção de vazão, sob a forma de escoamento superficial, pois parte é interceptada umedecendo o solo ou preenchendo depressões ou por infiltração rumo aos depósitos subterrâneos. Então, o volume escoado é um resíduo do volume precipitado e a relação entre os dois é o que se denomina coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial (*run off*) (PINTO *et al.*, 1976).

## Métodos de análise

O uso de modelos hidrológicos e hidráulicos vem sendo aplicado em diversas cidades com o objetivo de reduzir os impactos causados por chuvas intensas em áreas urbanizadas. A partir do conhecimento das características da bacia, é possível estimar as principais etapas do ciclo hidrológico, tornando possível determinar hidrogramas de cheia para diferentes eventos de precipitação. A aplicação de modelagem numérica gera informações importantes no gerenciamento sustentável de bacias hidrográficas, tornando a tomada de decisões para interferências estruturais mais barata e precisa (OLIVEIRA, 2017). São inúmeros os métodos usados na engenharia, livros clássicos de hidrologia citam desde modelos bastante simplificados, como o método racional, muito utilizado em projetos de drenagem para estimativas de vazão em pequenas bacias, até modelos com entradas distribuídas, os quais consideram a variabilidade espacial e temporal do evento chuvoso.

O Método Racional é um exemplo de modelo simples que foi criado no século XIX, introduzido em 1889, largamente utilizado nos Estados Unidos (DAEE, 1994) e, conforme Bidone e Tucci (1995), embora calcule apenas a vazão máxima de projeto para pequenas bacias, limitadas a 2 km<sup>2</sup>, ele ainda é o método mais utilizado para dimensionamento de obras de enchente, posteriormente, dele seguiram-se várias outras variações. Os mesmos autores apresentam os seguintes princípios básicos desse método:

- A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois, a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- Não se avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação que representa o método é a seguinte:

$$Q = 0,28 C . i . A \quad (2)$$

Onde Q é obtido em m<sup>3</sup>/s; C é o coeficiente de escoamento; i é a intensidade em mm/h; A é a área da bacia em km<sup>2</sup>.

De acordo com Pinto *et al.* (1976), a expressão  $Q = C.i.A$  traduz a concepção básica de que a máxima vazão, provocada por uma chuva de intensidade uniforme, ocorre quando todas as partes da bacia passam a contribuir para a seção de drenagem, medida através de seu tempo de concentração. Para uma bacia qualquer, de modo geral, o tempo de concentração depende principalmente da forma da bacia, da sua declividade medida ao longo do canal principal e do comprimento do curso d'água principal até a seção de saída considerada.

Existem várias equações para o cálculo do tempo de concentração, as mais utilizadas é a equação de Kirpich ou a fórmula do "Califórnia Culverts Practice" (1942), conforme a seguir:

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Onde:  $t_c$  é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do rio em km; H é a diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal.

O coeficiente de deflúvio C do método racional, também conhecido por coeficiente de "run off", multiplicado pela intensidade da precipitação de projeto, fornece o pico da cheia considerada por unidade de área. O valor de C leva em conta muitos fatores como a distribuição da chuva na bacia, a direção do deslocamento da tempestade em relação ao sistema de drenagem, a precipitação antecedente, as condições de umidade do solo, o tipo e uso do solo, a rede de drenagem existente, a duração e intensidade da chuva (PINTO *et al.* 1976).

Além destes, estima-se este coeficiente a partir de tabelas em função das características da bacia, principalmente com relação ao grau de impermeabilização do solo. Na Tabela 1, apresenta-se valores do coeficiente de escoamento superficial para os diferentes tipos de utilização do solo.

Tabela 1. Valores do coeficiente de escoamento superficial (“run off”).

Zonas	Valor de C
<b>Edificação muito densa:</b> partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
<b>Edificação não muito densa:</b> partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
<b>Edificações com poucas superfícies livres:</b> pares residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
<b>Edificações com muitas superfícies livres:</b> partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
<b>Subúrbios com alguma habitação:</b> partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
<b>Matas, parques e campos de esportes:</b> partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Tomaz (2002).

De modo geral, o Método Racional é recomendado para bacias pequenas que não apresentem complexidade e, segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), com áreas de até 2 km<sup>2</sup> ou 200 há e que não disponham de série histórica de dados fluviométricos. Para áreas maiores o método apresenta distorções, superestimando as vazões de cheias. Neste caso, o DAEE recomenda a utilização do Método I-Pai-Wu, desenvolvido no início da década de 1960, como um aperfeiçoamento do Método Racional que considera fatores intervenientes de melhorias para grandes áreas, como a distribuição espacial da chuva através do coeficiente  $K_d$ ; o armazenamento na bacia quanto a sua área e a sua forma física incorporando um coeficiente volumétrico de escoamento, abatendo-se o valor da área real com um expoente menor que a unidade.

Assim, o método I-Pai-Wu é definido pela seguinte expressão:

$$Q = 0,28 \cdot C_1 \cdot i \cdot A^{0,9} \cdot K_d \quad (4)$$

Onde Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s; i é a intensidade da precipitação em mm/h; A é a área da bacia em km<sup>2</sup>; C<sub>1</sub> é o coeficiente de escoamento superficial e  $K_d$  é o coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Neste método, o coeficiente de escoamento C<sub>1</sub> é estimado de forma diferente, levando em consideração o fator de forma da bacia, a relação entre o volume de escoamento calculado na elevação do hidrograma e o volume total escoado e ainda, um coeficiente volumétrico de escoamento, função da área de drenagem, da precipitação excedente e do volume total escoado.



Além desses, existem outros métodos de análise para vazões excedentes, um deles é o método do SCS (*Soil Conservation Service*), mais conhecido nos Estados Unidos e o mais aplicado. Recentemente, este método recebeu uma nova nomenclatura, NRCS (*National Resources Conservation Service*) e é aplicado para áreas que variam de 3 km<sup>2</sup> a 250 km<sup>2</sup>. Está baseado no conceito de hidrograma unitário que foi proposto pela primeira vez em 1932 por Sherman usando 1cm para a chuva excedente, conforme as unidades do Sistema Internacional (SI). O termo unitário foi usado por Sherman para denominar a unidade do tempo, mas com o tempo foi interpretado como a unidade da chuva excedente de 1cm (TOMAZ, 2012).

O método do SCS admite que após uma precipitação, a razão entre a altura de precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial e a capacidade máxima de retenção de água na bacia é igual à razão entre a precipitação excedente e o escoamento superficial potencial. O escoamento superficial potencial é definido como sendo a diferença entre a precipitação e as perdas iniciais que ocorrem até a absorção da superfície (PORTELA, 2006). Uma forma de aplicação do método do SCS em áreas urbanizadas é fazer uso de tabelas que consideram os tipos de ocupação do solo característicos de áreas urbanas. Se a bacia apresentar diversos tipos de solo e ocupação, deve-se adotar um valor de C obtido pela média ponderada dos Cs correspondentes às áreas homogêneas (PORTO, 1995).

Existem também, alguns *softwares* que são utilizados como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões, que envolve a aplicação de uma base de dados associada a modelos matemáticos, adotada em casos de análises complexas, como no caso de gerenciamento dos recursos hídricos. O *software* ABC é um exemplo, que foi desenvolvido com o objetivo inicial de oferecer suporte didático aos alunos do Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica; atualmente denominado Análise de Bacias Complexas (ABC 6) e disponibilizado pelo LabSid da Universidade de São Paulo. Por ser de domínio público e de fácil manipulação, o programa acabou atingindo o mercado profissional e o meio acadêmico, incluindo o próprio Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo que indica o uso do *software* em seu Guia Prático para Projetos e Pequenas obras Hidráulicas (2005).

Outro exemplo de modelagem computacional é o *Storm Water Management Model* (SWMM) que, segundo US EPA (2015), é um modelo dinâmico de simulação de chuva-escoamento utilizado para simular e mensurar a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, principalmente, de áreas urbanas. Tais simulações podem ser feitas de forma contínua ou para um evento único. O componente do SWMM relacionado ao escoamento opera sob um esquema de sub-bacias que recebem precipitação gerando escoamento superficial e acúmulo de poluentes. No SWMM o acompanhamento da quantidade e da qualidade do escoamento gerado é feito dentro de cada sub-bacia. Este processo é realizado durante o período de simulação, que é composto de múltiplos intervalos de tempo. O software possui a capacidade de simular diferentes processos hidrológicos que contribuem para a geração de escoamento nas áreas urbanas, através de diferentes práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID).

Nesse sentido, deve-se ressaltar que para cada objetivo de estudo, a disponibilidade de dados e as dimensões da bacia condicionam o tipo de método empregado. A exemplo das enchentes, potencialmente ampliadas pela urbanização devido à impermeabilização dos solos, a identificação das formas de ocupação do solo da bacia e sua mensuração são de suma importância.

Diante desse cenário, o estudo e a aplicação de novas soluções para a adequação de sistemas existentes ganharam grande impulso nos últimos tempos. Os conceitos “inovadores” mais adotados para a readequação ou o aumento da eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem têm por objetivo promover o retardamento dos escoamentos, de forma a aumentar os tempos de concentração e reduzir as vazões máximas; amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios; e conter, tanto quanto possível, o *run off* no local da precipitação, pela melhoria das condições de infiltração (CANHOLI, 2005).

### 3.5. A CONCEPÇÃO DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

No Brasil, a gestão das águas pluviais na área urbana é caracterizada pela drenagem e evacuação rápida das águas pluviais por meio de elementos de microdrenagem (meio-fio, guia, boca-de-lobo e galerias) e de macrodrenagem (pontes, canalização de cursos d'água etc.). No gerenciamento e ações para metodologias de quantificação do escoamento numa bacia urbana, é necessário quantificar as enchentes, seja para avaliar o impacto, projetar novas obras ou verificar o benefício das ações (PORTO, 1995).

De acordo com a EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018), não existe no país uma terminologia padronizada, um mesmo termo pode ter significados diferentes em regiões diferentes, porém, segundo Tucci (2004), o sistema de macrodrenagem relaciona-se aos escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene; já o de microdrenagem: relaciona-se a áreas onde o escoamento natural não é bem definido e, portanto, acaba sendo determinado pela ocupação do solo. Em áreas urbanas é essencialmente definido pelo traçado das ruas.

Para Porto *et al.* (1993), os sistemas de drenagem são definidos na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios, enquanto a microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais no nível do loteamento ou de rede primária urbana, projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado. Já a macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem, e envolve, geralmente, áreas de pelo menos 2 km<sup>2</sup>. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

Os autores Bidone e Tucci (1995), definem a microdrenagem urbana por um sistema de condutos pluviais no nível de loteamento ou de rede primária urbana, escoando a água precipitada nas áreas urbanas em direção às redes de macrodrenagem. As águas, ao precipitarem, escoam inicialmente pelos terrenos até chegarem às ruas. Sendo as ruas abauladas e tendo inclinação longitudinal, as águas escoarão rapidamente para as sarjetas e, destas, rua abaixo. Se o volume

de água precipitado e escoado pelas ruas superar a capacidade do sistema, ocorrerá alagamento, inundação de calçadas e velocidades elevadas do escoamento, podendo levar a problemas como enchentes e erosão do pavimento.

As estruturas de macrodrenagem destinam-se à condução final das águas captadas pela drenagem primária, dando prosseguimento ao escoamento dos deflúvios oriundos das ruas, sarjetas, valas e galerias. A macrodrenagem de uma área urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação e, nestes locais, o escoamento é normalmente bem definido. (PORTO *et al.*, 1993; MARTINS, 1995).

Segundo Martins (1995), a demanda por interferências na macrodrenagem surge à medida que são implantadas as obras de microdrenagem, as quais aumentam as vazões afluentes aos receptores originais, devido à redução dos tempos de concentração. Ao contrário da microdrenagem, as obras projetadas na macrodrenagem devem ser capazes de suportar grandes eventos de precipitação, geralmente episódios com tempo de recorrência de 100 anos, e levar em consideração a ocupação futura da bacia (PORTO *et al.*, 1993).

A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Com a construção das novas habitações a montante, tem-se a sobrecarga dos condutos sobre a macrodrenagem e, como consequência, as áreas mais afetadas são as mais antigas, localizadas a jusante. Quando o poder público não controla a urbanização ou não amplia a capacidade de macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. Pela falta de planejamento, depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como canalizações, diques com bombeamento, reversões e barragens, entre outras (PORTO, 1995).

A ineficiência e precariedade de sistemas de drenagem vêm promovendo a busca por soluções alternativas que preconizem um melhor convívio entre o ser humano e o meio urbano. Entretanto, a visão limitada de apenas intervir com obras estruturais não corresponde mais às necessidades reais da cidade, o que então, remete a uma visão integrada de ações, que levem em consideração o ambiente urbano e as relações entre os sistemas que o compõem (MARTINS, 2006).

Nos últimos anos tem-se desenvolvido e aplicado, em diversas cidades, novos conceitos em gestão das águas pluviais. Estes princípios, combinados ao estudo das características físicas das bacias hidrográficas, objetivam aproximar as vazões de escoamento à fase anterior à ocupação (CARVALHO; SANTOS; SCHUELER, 2015).

À medida que a população cresce e as manchas urbanas aumentam desordenadamente e sem planejamento, com novas áreas sendo ocupadas a cada dia, este desenvolvimento geralmente significa aumento da impermeabilização do solo pela pavimentação das ruas e lotes, construção de moradias e outras obras de infraestrutura. Na mesma proporção crescem em significância os aspectos ambientais relacionados à geração de esgotos domésticos, efluentes industriais, resíduos sólidos urbanos e industriais, e à emissão de poluentes atmosféricos (FINOTTI *et al.*, 2009).

A expansão dos centros urbanos sem o desenvolvimento de infraestrutura adequada prejudica os sistemas de drenagem locais por não se considerar as características naturais dos ambientes ocupados junto a intervenção humana da área sem o planejamento do espaço. Neste caso, a redução da área de percolação proporciona o aumento do escoamento superficial, pois as áreas de entorno dos cursos d'água, onde a vazão extravasada nos períodos de chuvas deveria ser amortecida pela vegetação e condições de solo favoráveis à infiltração, se encontram pavimentadas ou, ainda, a infraestrutura de drenagem não foi projetada para suportar o adensamento urbano, tornando-se ineficiente (REIS, 2015). Além disso, tem-se prejuízos como o assoreamento de rios, enchentes, ilhas de calor, entre outros fatores que afetam não apenas a cidade, mas também todo o seu entorno (SANTOS, 2016).

Como o processo de urbanização é contínuo, tanto os volumes escoados quanto as vazões aumentam constantemente, sendo necessárias novas ampliações das redes de drenagem pluvial urbana, por não mais suportarem os excedentes gerados. Dessa forma, tornam-se necessárias obras de drenagem cada vez maiores, que, em alguns casos, podem ser inviáveis devido aos altos custos envolvidos e às limitações físicas de espaço para ampliação do sistema (TASSI *et al.*, 2016).

Algumas cidades brasileiras estão substituindo as tradicionais obras de ampliação, ou de implantação de redes de drenagem, por técnicas que buscam atenuar os impactos da urbanização no escoamento natural das águas pluviais (TASSI *et al.*, 2016), também conhecidas por técnicas de desenvolvimento de baixo impacto, tendo como princípio tratar o escoamento pluvial o mais próximo possível da fonte geradora, por meio de dispositivos que promovam a infiltração, percolação, evapotranspiração e/ou amortecimento das águas pluviais geradas pela impermeabilização, cujo objetivo é diminuir as vazões de pico e retardar os volumes escoados superficialmente.

A responsabilidade pela gestão do sistema de águas pluviais, na maioria dos municípios do Brasil, é da administração direta municipal, isto é, pela própria prefeitura. De maneira geral, não existe uma entidade específica responsável pela prestação dos serviços, como ocorre, por exemplo, com os serviços de água e esgotos, com as companhias de saneamento regionais e locais. Além disso, algumas obras, sobretudo de macrodrenagem, são de responsabilidade dos estados. De uma forma geral, os municípios apresentam deficiências de gestão de tal infraestrutura, geralmente considerada uma atividade secundária, subordinada aos outros componentes da infraestrutura urbana como, por exemplo, o sistema viário. Além do que a capacitação técnica dos agentes municipais muitas vezes é insuficiente (BRASIL, 2018).

De acordo com Santos (2007), a ocorrência de uma enchente é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e na sua propagação ao longo da bacia de contribuição. Toda a área de drenagem situada a montante contribui com o volume de água escoada em uma seção transversal do rio. Os fatores intervenientes na formação das enchentes podem ser de origem natural e de origem artificial, resultante das intervenções humanas.

Os fatores naturais são a topografia e a natureza de drenagem à montante das zonas inundáveis. As altas declividades das vertentes e dos cursos d'água reduzem o tempo de resposta da bacia às precipitações, gerando vazões importantes à jusante. As vazões máximas são proporcionais às declividades da rede de drenagem e das alturas de precipitação na bacia de contribuição. Nesse sentido, as velocidades dos escoamentos são igualmente proporcionais às

declividades. E, portanto, quanto maior a declividade maior a velocidade e maior a capacidade destrutiva dos escoamentos (SANTOS, 2007).

Os sistemas de drenagem sofrem impactos diretos da política de uso do solo municipal, isto é, da capacidade dessa política em preservar ou expandir áreas verdes, controlar a impermeabilização do solo e disciplinar a ocupação de várzeas (BRASIL, 2018). Segundo Tucci e Genz (1995) a drenagem moderna deve seguir os seguintes princípios: não transferir impactos para jusante; não ampliar cheias naturais; propor medidas de controle para o conjunto da bacia; legislação e Planos de Drenagem para controle e orientação; constante atualização de planejamento por estudo de horizontes de expansão; controle permanente do uso do solo e áreas de risco; competência técnico-administrativa dos órgãos públicos gestores; educação ambiental qualificada para o poder público, população e meio técnico.

Na conceituação atual de manejo de águas pluviais urbanas, o controle e a minimização dos efeitos adversos das enchentes urbanas não se limitam ao princípio dominante no meio técnico tradicional, como o de se propiciar o afastamento e o escoamento das águas pluviais dos pontos críticos, mas da agregação de um conjunto de ações e soluções de caráter estrutural e não estrutural, envolvendo execuções de grandes e pequenas obras e de planejamento e gestão de ocupação do espaço urbano, com legislações e fiscalizações eficientes quanto à geração dos deflúvios superficiais advinda do uso e da ocupação do solo (RIGHETTO, 2009).

Estabelecidas as causas das enchentes em áreas urbanas, cabe a proposição de uma abordagem que seja coerente e sistemática para as ações de mitigação, em decorrência da impermeabilização do solo com a falta de um plano de manejo das águas pluviais e o emprego excessivo de canalizações. Diante da necessidade de uma mudança de paradigma na concepção das obras de drenagem pluvial, surgiu o conceito de *Low Impact Development* ou Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), cujo princípio é a gestão das águas pluviais próximo a sua origem, buscando a utilização de técnicas que permitam mimetizar funções naturais que são perdidas com a urbanização (TASSI *et al.*, 2014).

### 3.6. DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO - LID

*Low Impact Development* (LID) é uma abordagem ecológica de gestão das águas pluviais que utiliza técnicas de engenharia ambiental para realizar o gerenciamento e tratamento das águas das chuvas na fonte através de uma rede espaços vegetados (UACDC, 2010). O LID foi empregado pela primeira vez no Estado de Maryland, nos Estados Unidos, com o objetivo de manter a hidrologia urbana o mais próximo das condições pré-urbanas e controlar o escoamento pluvial e o transporte de poluentes na fonte (NOVOTNY *et al.*, 2010).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA - *United States Environmental Protection Agency*), o termo Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development - LID*) se refere a sistemas e práticas que utilizam ou simulam processos naturais que resultam em infiltração, evapotranspiração ou utilizam a água da chuva para preservar a qualidade da água e seus ambientes aquáticos associados. O uso da prática LID surgiu como uma alternativa aos processos convencionais de drenagem para diminuir os efeitos do escoamento superficial, baseando-se em princípios como a preservação e a recriação de paisagens naturais, minimizando a impermeabilidade da área e criando sistemas de drenagem que tratam a água da chuva muito mais como recurso do que como um problema a ser resolvido (ROSSMAN, 2015).

Na Europa e na América do Norte, a partir de 1970, iniciou-se uma nova abordagem com relação às soluções adotadas para diminuir as enchentes urbanas. Esse novo conceito trouxe à tona a necessidade de reduzir o escoamento superficial e de retardar o tempo de percurso dessas águas pluviais e não mais de acelerá-las. Trata-se de soluções simples, de pequeno porte e de grande abrangência. São chamadas de soluções alternativas ou compensatórias, que favorecem a infiltração da água no solo (SANTOS, 2007).

As melhores práticas de gestão (*best management practices - BMPs*) e as práticas de desenvolvimento de baixo impacto (*low impact development - LID*) são cada vez mais utilizadas como técnicas de gerenciamento de águas pluviais para reduzir os impactos do desenvolvimento urbano sobre a hidrologia e qualidade da água. As BMPs são usadas para coletar, armazenar e tratar o escoamento de águas pluviais com instalações no final das áreas de drenagem e projetadas para transportar o escoamento para fora do local o mais lentamente possível. As práticas



de LID são de pequena escala e utilizadas como medidas de controle na origem, projetadas para reproduzir os processos como de infiltração, evaporação e filtração. Tais medidas são similares, no entanto, as práticas *low impact development* (LID) além de incorporarem os conceitos das BMPs, acrescentam a ideia de desenvolvimento urbano sustentável (LIU *et al.*, 2015).

Alguns dos conceitos que definem a essência das tecnologias de desenvolvimento de baixo impacto devem ser integrados ao processo de planejamento para que se produza um projeto bem-sucedido e viável. Estes conceitos são simples, porém, sua importância não pode ser negligenciada. Tais conceitos fundamentais incluem (VILLANUEVA *et al.*, 2011):

- ✓ Utilizar a hidrologia como um acessório de integração, sendo a bacia hidrográfica uma unidade de planejamento;
- ✓ Pensar em forma de microgestão, agindo de modo preventivo;
- ✓ Controlar a água da chuva na fonte, com transferência zero de impactos a jusante;
- ✓ Utilizar métodos simples, estruturais e não estruturais de forma integrada;
- ✓ Promover a participação pública.
- ✓ Criar uma paisagem multifuncional.

E, desse modo, busca-se a redução do impacto gerado pela urbanização de modo a manter as condições hidrológicas como sendo aquelas de pré-ocupação dos locais urbanizados, promovendo o correto uso do solo. Prince George's County (1999) definiu alguns passos a serem seguidos no processo de planejamento de locais com aplicação das práticas LID. Os passos são:

- Passo 1: Identificar o zoneamento aplicável, o uso do solo, subdivisões e outros reguladores locais;
- Passo 2: Definir os locais a serem protegidos;
- Passo 3: Utilizar a hidrologia e a drenagem natural como elementos de projeto;
- Passo 4: Reduzir ou minimizar o total de áreas impermeáveis;
- Passo 5: Integrar os projetos preliminares do local;
- Passo 6: Minimizar as conexões diretas entre áreas impermeáveis;
- Passo 7: Modificar ou aumentar os trajetos de escoamento devido à drenagem;

- Passo 8: Comparar hidrológicamente os cenários de pré e pós desenvolvimento;
- Passo 9: Finalizar o projeto com técnicas de baixo impacto.

As medidas para controle de enchentes envolvem regras de disciplinamento estabelecidas pelo setor público competente (municipal, estadual e federal), de maneira a permitir uma convivência com a inundação provocada pelo extravasamento da onda de cheia no canal fluvial. Estas medidas são alcançadas pelo gerenciamento da bacia hidrográfica e pelo gerenciamento da planície de inundação, ambos somados e norteados por diagnósticos obtidos com base científica e métodos de avaliação eficazes (SANTOS, 2007)

### **Medidas de controle do escoamento**

As medidas de controle do escoamento são classificadas de acordo com sua ação na bacia hidrográfica em:

- *Distribuída* ou *na fonte*: têm como ação a intervenção diretamente no lote, em estacionamentos, parques e passeios. Sua principal função é o aumento de áreas para **infiltração**, **percolação** e **armazenamento** temporário em reservatórios. Em geral, esses dispositivos não são de grandes proporções e estão localizados próximos aos locais geradores do escoamento, o que permite um melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante;
- Na *microdrenagem*: consiste em drenar a área desenvolvida através de condutos pluviais até um coletor principal urbano. Tal solução tende a transferir para jusante o aumento do escoamento superficial com maior velocidade, uma vez que o tempo de deslocamento do escoamento é menor do que nas condições preexistentes, provocando inundações nos troncos principais ou na macrodrenagem;
- Na *macrodrenagem*: o controle de vazões na macrodrenagem urbana pode ser realizado por **medidas estruturais** ou **não estruturais**. Para Santos (2007) e Righetto (2009), apesar de tratadas de formas distintas, tais medidas são complementares:
  - *Medidas estruturais* envolvem as tradicionais obras de engenharia para controle das enchentes, visando à correção e/ou prevenção dos

problemas decorrentes (exemplos: obras de captação, como bueiros e bocas-de-lobo; obras de transporte, como galerias e canais; obras de retenção, como as bacias de retenção, reservatórios de acumulação de águas pluviais etc);

- *Medidas não estruturais* compreendem todos os tipos de medidas que possam proporcionar um convívio com as enchentes, ou seja, são medidas que alcançam objetivos excelentes quanto à redução dos problemas de drenagem urbana, porém exigem esforços de conscientização popular, legislação apropriada, fiscalização do uso e de ocupação dos espaços urbanos, manutenção regular dos elementos estruturais, dos pátios, jardins e pavimentos, isto é, objetivam reduzir os danos e/ou as consequências das enchentes (TUCCI; GENZ, 1995 e MARTINS, 2006).

Além disso, as ações não estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação. Estas ações procuram disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas. Considerando aquelas mais adotadas, as medidas não estruturais podem ser agrupadas em:

- Ações de regulamentação do uso e ocupação do solo;
- Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo;
- Seguro-enchente;
- Sistemas de alerta e previsão de inundações (CANHOLI, 2005).

Ainda, é necessário que se aprimorem os sistemas de alerta de enchentes e inundações, com o objetivo de:

- A partir de dados meteorológicos coletados, detectar a possibilidade de enchentes e inundações;
- Alertar as Defesas Cívicas Municipais e Prefeituras;
- Prever atitudes a serem tomadas de forma a evitar e minimizar os possíveis danos trazidos pelas chuvas.

As medidas de controle são também organizadas de acordo com a sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias. Segundo Tucci (2005), podem ser classificadas como:

- *Infiltração e percolação*: cria-se espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;
- *Armazenamento*: através de reservatórios que podem ocupar espaços abertos ou fechados. O efeito do reservatório é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- *Aumento da eficiência do escoamento*: através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- *Diques e estações de bombeamento*: solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

As principais medidas de controle localizadas no lote, como mencionado, são as práticas de desenvolvimento de baixo impacto ou *Low Impact development* (LID) que, de acordo com Canholi (2005), apresentam vantagens e desvantagens tais como: o fato de tais dispositivos serem normalmente compostos por pequenas unidades de reservação, que podem ser padronizadas; a alocação dos custos pode ser simplificada, por causa da menor sobrecarga para cada área controlada e a relação direta que é possível estabelecer entre área urbanizada e o deflúvio; os custos de manutenção e operação podem elevar-se em razão da multiplicação das unidades; e a avaliação do desempenho global, para fins de dimensionamento e projeto, pode tornar-se complexa e trazer incertezas ao projetista.

Em suma, as medidas de controle na fonte são aquelas que proporcionam o aumento das áreas de *infiltração* (processo de transferência do fluxo da superfície para o interior do solo), *percolação* (velocidade do fluxo de água através da camada não-saturada do solo até o lençol freático, ou seja, quando a água percorre o solo) e, também, o *armazenamento* temporário em reservatórios residenciais ou telhados. As vantagens e desvantagens desses dispositivos, de modo simplificado, são as seguintes:

- Aumento da eficiência do sistema de drenagem de jusante dos locais controlados;

- Aumento da recarga; redução da ocupação em áreas de lençol freático baixo; preservação da vegetação natural; redução da poluição transportada para os rios; redução das vazões máximas à jusante; redução do tamanho dos condutos;
- Aumento da capacidade de controle de enchentes dos sistemas;
- Dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas;
- Os solos de algumas áreas podem ficar impermeáveis com o tempo; falta de manutenção; aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo;
- Os custos de operação e manutenção podem ser altos (TUCCI e GENZ, 1995).

A impermeabilização das superfícies é o principal fator de agravamento das enchentes enquanto a manutenção de superfícies permeáveis reduz o risco de ocorrência de enchentes. Além disso, armazenam a água no solo para serem utilizadas em períodos sem precipitação, tendo como consequência uma redução dos efeitos das estiagens (SANTOS, 2007).

Para implementar os princípios do LID, citam-se técnicas como o uso de pavimentos permeáveis, jardins de infiltração domiciliares ou condominiais (jardins de chuva), implantação de telhados verdes e sistemas de aproveitamento de água da chuva (EDUARDO *et al.*, 2016). Tais técnicas oferecem uma grande versatilidade na parte de projeto, podendo ser incorporadas em novas áreas urbanas e em áreas urbanas já existentes (KAŹMIERCZAK; CARTER, 2010). Em áreas urbanas já consolidadas essa técnica é aplicada como estratégia de manter a densidade de desenvolvimento e ao mesmo tempo desenvolver o 'verde' da infraestrutura das cidades.

Uma estratégia de implantação de práticas LID para o controle de escoamento superficial urbano é a infraestrutura verde. Tal técnica relaciona-se ao planejamento e gestão ambiental como elemento estruturador da paisagem urbana, desempenhando funções relacionadas ao manejo das águas urbanas, conforto ambiental, biodiversidade, alternativas de circulação, acessibilidades e função paisagística, subsistindo como alternativa adequada aos problemas ambientais urbanos para melhoria da qualidade ambiental em cidades (BENINI, 2015).

Recentemente vêm-se estudando a redução de vazões a partir de armazenamentos temporários difusos nos próprios lotes urbanos. A redução de volumes é baseada em técnicas de infiltração que devem operar a partir do instante em que a precipitação atinge as superfícies. Isto implica não somente na execução de obras difusas, mas, principalmente, na incorporação de uma nova postura tecnológica no desenvolvimento de materiais de pavimentação, normativa na sua utilização e metodológica na ocupação dos espaços públicos e privados (PÔMPEO, 2000).

Os dispositivos aplicados para favorecer a reservação dos escoamentos constituem o conceito mais significativo e amplo no campo das medidas inovadoras em manejo de águas pluviais urbanas. A finalidade principal dessa solução é promover a redução do pico das enchentes, por meio do amortecimento conveniente das ondas de cheia, obtida pelo armazenamento de parte do volume escoado. Entretanto, a utilização dessas estruturas vem sendo associada também a outros usos, como recreação e lazer e, mais recentemente à melhoria da qualidade d'água (CANHOLI, 2005).

Em relação à contenção na fonte, no caso das práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), os dispositivos podem ser classificados de acordo com sua localização no sistema de drenagem, podendo ser no local ou pela detenção *in situ*. A disposição no local é tipicamente voltada ao controle em lotes residenciais e vias de circulação, concebida por obras e dispositivos que promovam ou incrementem a infiltração e percolação das águas coletadas (MARTINS, 2006). De forma geral, esses dispositivos são de pequenas dimensões e localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados (fonte), permitindo assim melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante (CANHOLI, 2005).

Já a detenção *in situ* tem a função de armazenar em pequenos reservatórios temporários os escoamentos produzidos em áreas próximas (MARTINS, 2006). Refere-se às obras para reservação dos deflúvios a jusante, representadas pelos reservatórios destinados a controlar os deflúvios provenientes de partes significativas da bacia, isto é, pequenos reservatórios ou bacias para armazenamento temporário de escoamentos produzidos em áreas restritas e próximas (CANHOLI, 2005).

Dentre tais estruturas utilizadas para estes fins podem ser citadas: telhado verde (*Green Roof*), jardim de chuva (*Rains Gardens*), pavimento permeável (*Permeable Pavements*), trincheira de infiltração (*Infiltration Trenches*) e reservatório de infiltração (*Infiltration Reservoir*).

### **Telhado Verde**

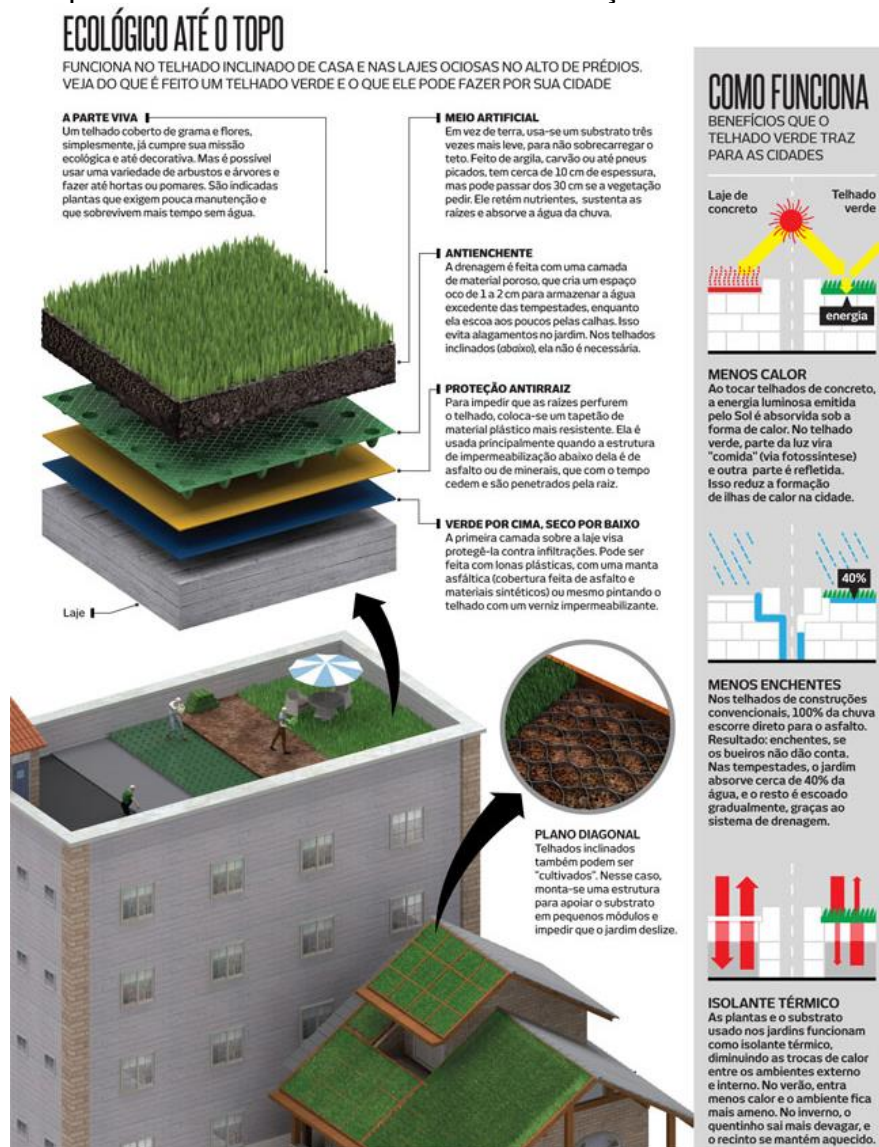
Esses dispositivos de controle visam restringir a entrada dos escoamentos no sistema de drenagem promovendo sua reservação, ou seu armazenamento. Em relação ao evento chuvoso, essa reservação pode ser temporária, atuando como um retardamento no fluxo, ou permanente, para que a água reservada seja posteriormente utilizada (CANHOLI, 2005). Uma casa com um telhado verde pode oferecer espaço para a biodiversidade ao mesmo tempo em que ajuda na regulação climática do entorno e do edifício.

O telhado verde é composto pela aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações, estas recebem o tratamento adequado em relação à impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo. Não necessariamente pode-se relacionar esta tecnologia apenas às novas edificações pois, desde que sejam observados alguns aspectos, é possível aplicá-la com grande sucesso em edificações existentes. Para tal, é necessário investigar a resistência da estrutura que irá receber o telhado verde, a impermeabilização, a execução de barreiras anti-raízes, a drenagem a ser executada e a inclinação da cobertura existente ou a ser reformada ou construída (BALDESSAR, 2012).

O controle das águas precipitadas nos telhados verdes pode ser obtido com a adoção de um sistema de calhas e condutores com capacidade de armazenamento, que é controlado mediante válvulas especiais. Telhas e estruturas de cobertura de concreto, com capacidade de armazenar água de chuva, também podem ser utilizadas. O projeto estrutural dessas coberturas deverá levar em conta a sobrecarga resultante do volume adicional de água, o que propiciará elevação do custo da obra (CANHOLI, 2005). Com relação ao armazenamento, os telhados verdes apresentam algumas dificuldades que são a manutenção e o reforço das estruturas, devido as características do clima brasileiro e ao tipo de material usualmente utilizado nas coberturas (TUCCI e GENZ, 1995).

Essa é uma tendência mundial que tem como referências países como Japão, EUA, Inglaterra e Alemanha, que já utilizam a cobertura verde para melhorar ou manter bons níveis de qualidade de vida para a população. Estes países estão sempre em busca de sistemas ou projetos que economizem recursos e ofereçam mais conforto aos cidadãos das grandes metrópoles. A Figura 2 apresenta o modelo de um projeto básico de um telhado verde e como o seu uso é uma solução extremamente benéfica aos grandes centros urbanos que enfrentam os problemas das ilhas de calor, poluição ambiental e enchentes causadas pelo ineficiente escoamento das águas pluviais.

Figura 2. Componentes do telhado verde e suas funções.



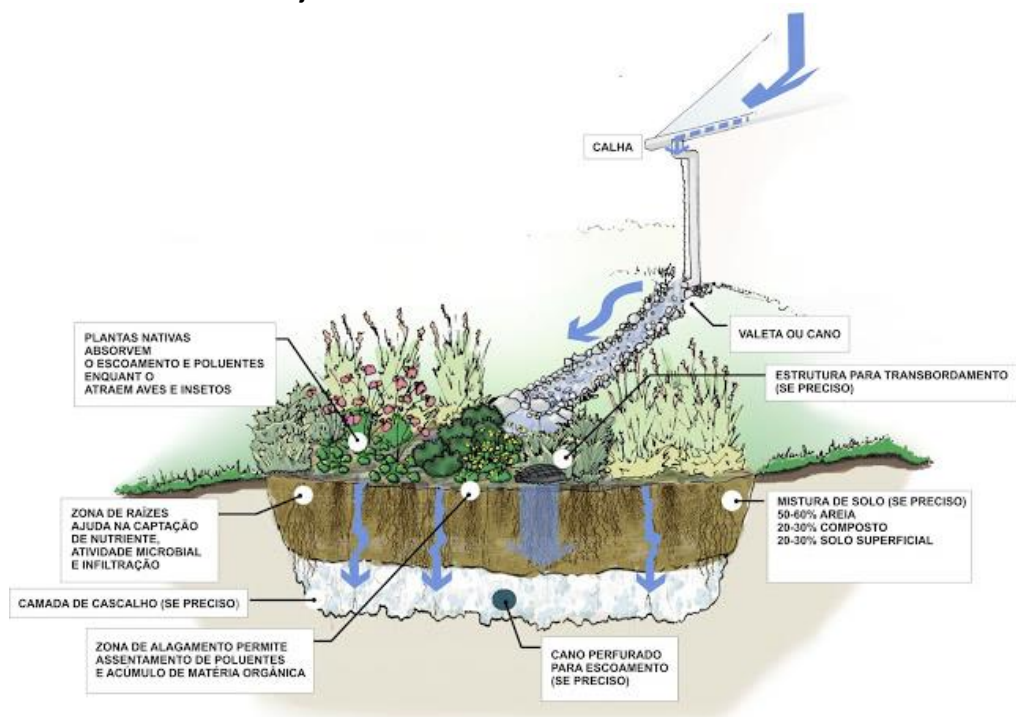
Fonte: Revista Galileu (2013). Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT329109-18537,00.html>>. Acesso em 18 mar. 2019.



## Jardim de chuva

Os jardins de chuva, também conhecidos como sistemas de biorretenção ou bacias de infiltração, são tipos de dispositivos de drenagem de controle na fonte, montados em depressões rasas na paisagem e cobertas por uma camada de cobertura vegetal, funcionando como estrutura de retenção, infiltração e tratamento das águas advindas, principalmente, do escoamento superficial (MELO *et al.*, 2014). O corte esquemático do jardim de chuva é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Estrutura de um jardim de chuva.



Fonte: *Museu de arte parede - sistema de drenagem do terreno* (2015). Disponível em: <<http://genoa-arq.blogspot.com/2015/07/museu-de-arte-parede-sistema-de.html>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

Li e Zhao (2008) descrevem o jardim de chuva como uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, de baixo investimento e manutenção simplificada, no qual, através do sistema solo-planta-atmosfera e processos de infiltração, retenção e adsorção, purifica e absorve as águas pluviais de pequenas áreas, reduzindo o volume escoado e protegendo as águas subterrâneas. Sua função de retenção é projetada para captar, reter, retardar e minimizar ou evitar os impactos advindos do escoamento superficial (Figura 4). Nessa etapa as águas são conservadas sobre sua superfície e depois se infiltram ou evaporam.

Santos (2014) aponta jardins de chuva como depressões topográficas, já existentes ou produzidas, que recebem o escoamento da água pluvial proveniente de telhados e demais áreas impermeabilizadas. O solo, bastante permeável, absorve a água, ao mesmo tempo em que microrganismos e bactérias nele presentes removem os poluentes trazidos pelo escoamento superficial. Sua capacidade limita-se em virtude das dimensões oferecidas pelo espaço, bem como às características geotécnicas encontradas.

Entretanto, mesmo pequenos, os jardins de chuva ainda apresentam relevante eficiência frente à melhoria da qualidade da água, uma vez que o momento inicial das chuvas carrega grande quantidade de poluentes. Sua eficiência evidencia-se quando não houver água parada em sua superfície após algumas horas da chuva ocorrida (SANTOS, 2014).

Em relação ao projeto, alguns autores consideram os jardins de chuva sistemas ideais para serem implantados em áreas residenciais, principalmente em quintais, onde os sistemas são dimensionados justamente para receber volumes de calçadas e telhados (MELO *et al.*, 2014).

Figura 4. Jardim de chuva na cidade de Filadélfia.



Fonte: Philadelphia Water Department (2018). Disponível em: <[http://www.phillywatersheds.org/what\\_were\\_doing/community\\_partnerships/programs/soak-it-adoption/green-stormwater-tools/how-does-it-work](http://www.phillywatersheds.org/what_were_doing/community_partnerships/programs/soak-it-adoption/green-stormwater-tools/how-does-it-work)>. Acesso em 19 mar. 2019.

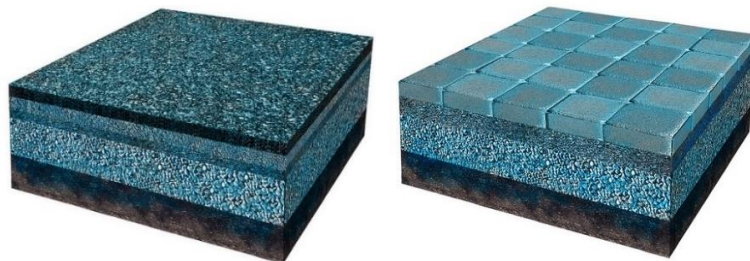
## Pavimento Permeável

Os pavimentos permeáveis, ou pavimentos porosos, são constituídos normalmente de concreto poroso e asfalto convencional, além dessas superfícies tradicionais, outra forma é a utilização de blocos de concreto vazado (CANHOLI, 2005). Esse tipo de estrutura pode ser utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego, pois em locais de grande tráfego o pavimento pode ser deformado e entupido, tornando-se impermeável (TUCCI e GENZ, 1995).

Suzuki; Azevedo e Kabbach (2014) apresentam que os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estrutura-reservatório. Os autores comentam que tal nomenclatura faz menção às funções da sub-base, as quais são: função mecânica, que se liga ao termo estrutura, esta permite suportar os carregamentos derivados do tráfego de veículos, objetos ou pessoas; e função hidráulica, referente à palavra reservatório, esta assegura reter de forma provisória a água devido à porosidade dos materiais, seguido pela drenagem e, sempre que for possível, pela infiltração no solo do subleito.

Devem-se estabelecer alguns parâmetros no projeto destes pavimentos, como a profundidade do reservatório, o material que o preencherá e seu percentual de espaços vazios disponíveis para o armazenamento da água e as dimensões dos condutos que conduzirão o volume armazenado até a rede de drenagem. (BAHIENSE, 2013). A estrutura básica que compõe os pavimentos permeáveis é esquematizada na Figura 5.

Figura 5. Estruturas do pavimento permeável.

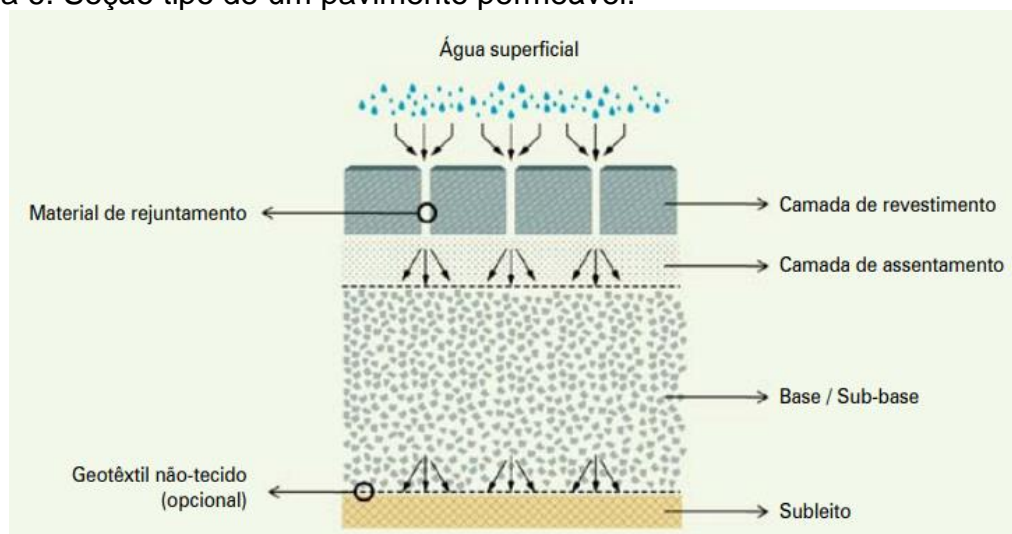


Fonte: *Philadelphia Water Department* (2018). Disponível em: <[http://www.phillywatersheds.org/what\\_were\\_doing/community\\_partnerships/programs/soak-it-adoption/green-stormwater-tools/how-does-it-work](http://www.phillywatersheds.org/what_were_doing/community_partnerships/programs/soak-it-adoption/green-stormwater-tools/how-does-it-work)>. Acesso em 19 mar. 2019.

Alguns benefícios ambientais do pavimento permeável são a redução dos coeficientes de escoamento superficial (*run off*), recarga de lençóis freáticos e auxílio na filtragem de alguns poluentes. Outros benefícios estão ligados às questões de segurança e engenharia de tráfego, como a redução de poças d'água, o que aumenta a segurança e o conforto para dirigir durante períodos chuvosos. Também na diminuição dos ruídos do tráfego em comparação com pavimento convencional, o que ajuda na diminuição do desconforto sonoro nas cidades (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2014).

Segundo Moura *et al.* (2005), os pavimentos permeáveis não devem ser confundidos com as superfícies permeáveis, uma vez que os pavimentos possuem um reservatório de pedras para o armazenamento da água fazendo com que tenham uma melhor capacidade de infiltração que as superfícies permeáveis, além de terem uma menor dependência das condições do local. A seção tipo para um pavimento permeável é basicamente a da Figura 6.

Figura 6. Seção tipo de um pavimento permeável.



Fonte: MARCHIONI e SILVA (2011).

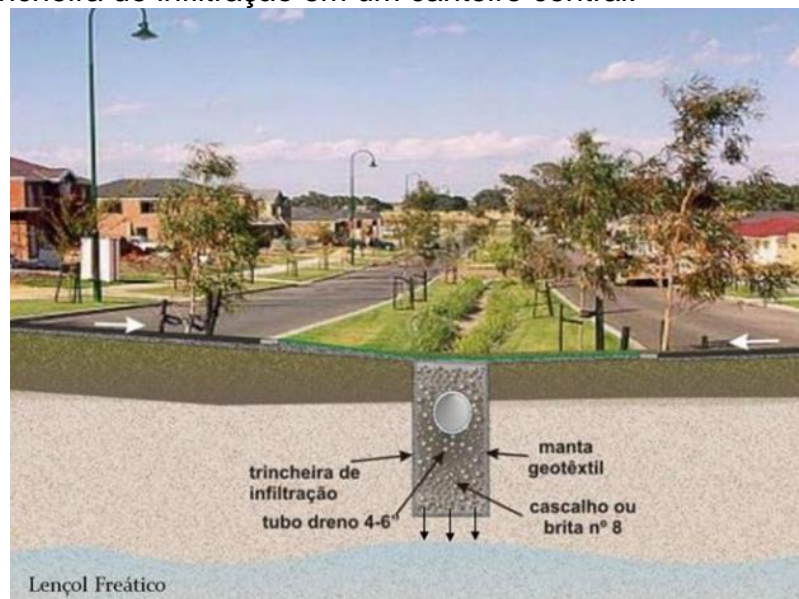
Os sedimentos que se acumulam no pavimento permeável tendem a minorar sua capacidade de infiltração com o tempo, portanto, segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), em dez anos o pavimento pode ter uma redução de 90% em sua capacidade. Sendo assim, recomenda-se substituir o material de rejuntamento e fazer uma limpeza anual com equipamento de aspiração.



## Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração funcionam como armazenamento temporário de água até que ela possa infiltrar no solo (Figura 7). Esse tipo de dispositivo é composto por uma valeta preenchida de material granular (MARTINS, 2006). São valetas revestidas com vegetação, em geral grama, adjacentes a ruas e estradas, ou junto a áreas de estacionamento, para favorecer a infiltração e podem ser complementadas com trincheiras de percolação (CANHOLI, 2005).

Figura 7. Trincheira de infiltração em um canteiro central.



Fonte: Adaptado de GEOWATER (2009 *apud* NUNES *et al.*, 2017).

São dispositivos projetados ao longo de superfícies impermeáveis com a finalidade de receber os volumes de escoamento gerado nessas áreas. São constituídas por valetas onde as dimensões de comprimento são superiores as de largura, caracterizando assim a linearidade do sistema. Por ser uma técnica baseada nos princípios de infiltração e percolação das águas, também são denominadas de trincheiras de percolação ou trincheiras drenantes (OHNUMA JUNIOR, 2008).

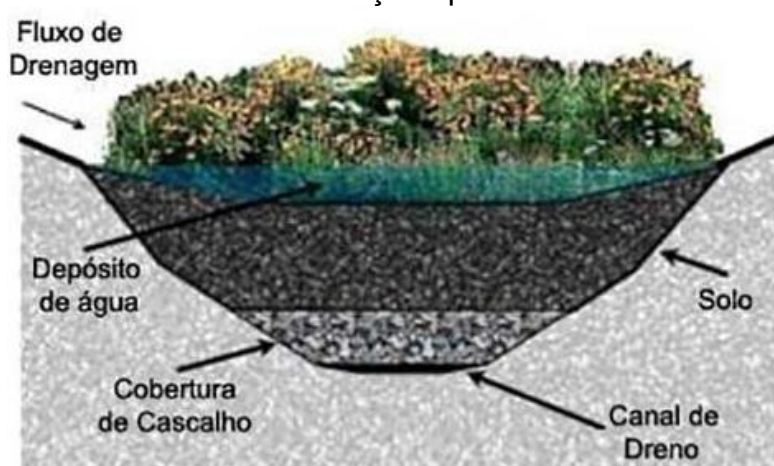
A trincheira de infiltração não só funciona como uma boa prática de manejo, como também é um eficiente instrumento na remoção e poluentes, devido ao seu princípio construtivo. No entanto, apesar de minimizar os volumes de escoamentos e garantir uma eficiente remoção de poluentes, há aspectos que devem ser analisados na instalação desse sistema, por exemplo, a proteção dessas valetas com vegetação pode ser importante para a conservação da superfície mais

permeável do solo, que pode colmatar com a decantação de partículas finas e, conseqüentemente, poluir o lençol freático dependendo de sua distância da trincheira. É possível que eventualmente seja necessária a retirada do material acumulado para restaurar a capacidade de infiltração (CANHOLI, 2005). Como vantagem, a trincheira de infiltração permite a redução das vazões de pico de escoamento a jusante, a recarga do aquífero, o baixo custo e possui a facilidade de construção.

### **Reservatório de infiltração ou bacia de infiltração**

Reservatórios de infiltração, também chamados de reservatórios de detenção ou bacia de infiltração, são caracterizados como depressões no terreno que possuem o objetivo de diminuir o volume das enxurradas, retirar os poluentes e também conduzir a recarga da água subterrânea (UFJF, 2011). São estruturas do tipo reservatório com paredes e fundos permeáveis, atuando como um sistema receptor da água pluvial, cujo excesso é armazenado temporariamente, infiltrando os volumes gradualmente no solo, direcionando-os para o aquífero (Figura 8). Esse tipo de intervenção tem boa integração com o espaço urbano em virtude da baixa necessidade de espaços para construção, embora precisam de constante manutenção (MARTINS, 2006).

Figura 8. Corte de uma bacia de infiltração típica.

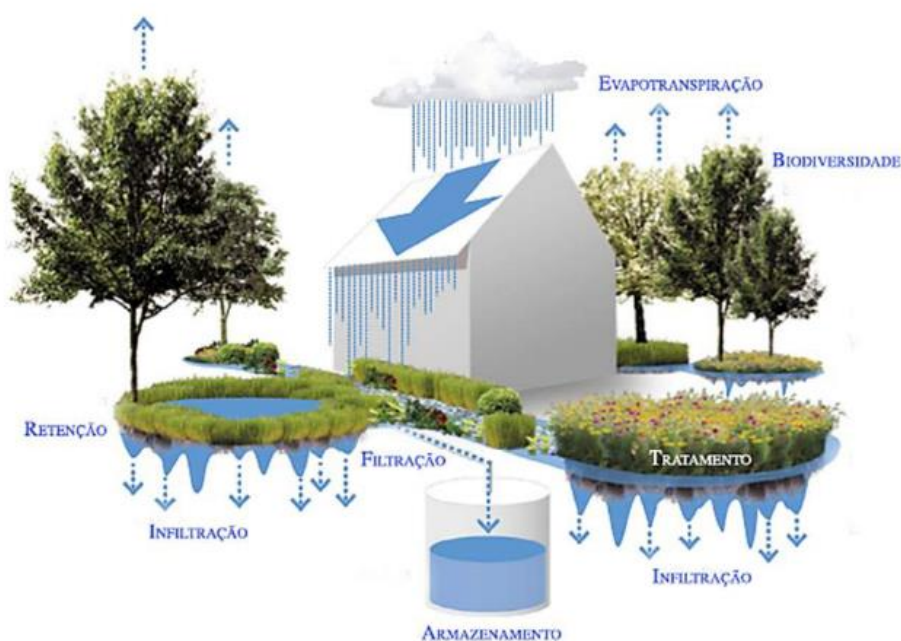


Fonte: Fórum da Construção - IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da arquitetura (S.d.). Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=36&Cod=2018>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

De acordo com Tomaz (2010), a vegetação para o reservatório de infiltração é importante e sugere que esta seja composta principalmente pelas que possuem raízes profundas, pois criam pequenos condutos por onde a água se infiltrará, aumentando a capacidade de infiltração do reservatório. Tais dispositivos têm por vantagens a facilidade de limpeza, tendo em vista que todo o lixo e qualquer outro objeto que é conduzido pela chuva tendem a concentrar-se em apenas um lugar; o custo reduzido de canalizações a jusante e auxilia nos projetos de áreas verdes e de lazer em uma cidade. Em contrapartida, a maior dificuldade no projeto e implementação dos reservatórios é a quantidade de lixo transportada pela drenagem que obstrui a entrada dos mesmos (TUCCI, 2003).

Com relação as tipologias apresentadas, deve-se destacar um aspecto importante, estas podem ser incorporadas às edificações e abranger diferentes escalas de projetos, desde a escala do lote residencial (Figura 9) até toda bacia hidrográfica, uma cidade, toda uma região, estado ou país. Além disso, podem estar associadas a práticas de reuso das águas residuais (águas cinzas e pluviais) para fins não potáveis nas edificações, reduzindo assim, o consumo de água potável e o volume de água dos sistemas de tratamento de esgotos (PINHEIRO, 2017).

Figura 9. Tipologias de Infraestrutura Verde na escala do lote residencial.



Fonte: *University of Arkansas Community Design Center (UACDC, 2010 traduzido por PINHEIRO, 2017).*

### **3.7. EXPERIÊNCIAS NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS BASEADAS EM LID**

A urbanização há tempos se consolida como agente de transformação socioespacial, onde o espaço urbano é cenário resultante entre a complexidade dos processos de formação espacial e a diversidade das relações sociais nele existentes. O padrão de crescimento das cidades brasileiras, orientado pelo sistema capitalista de produção, apresenta a ocupação espacial através dos objetivos econômicos em detrimento de soluções de ordem socioeconômica e ambiental. Tal padrão apresenta-se condicionado à análise e valorização de estruturas físicas inseridas dentro dos limites administrativos das cidades como as condições do relevo, as edificações, as redes de infraestrutura (malhas viárias, sistema de distribuição de energia, sistemas de transporte e redes de água e esgoto), além do parcelamento, uso e ocupação do solo (SANTOS, 2014).

De acordo com as informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), atualmente 82% da população brasileira é predominantemente urbana. O Brasil é marcado demograficamente por grandes desigualdades sociais e econômicas que interferem na distribuição espacial de sua população. A desigualdade da distribuição de renda ocasiona, nos grandes centros urbanos, além das maiores parcelas do PIB do país, os maiores problemas e desafios de infraestrutura urbana.

A necessidade de desenvolver e consolidar práticas integradas sustentáveis, para Santos (2014), tem seu reflexo sobre a conduta de governos, empresas e setores da sociedade civil que buscam solucionar a questão socioambiental. Logo, é necessário que haja o desenvolvimento e a consolidação dessas práticas, as quais consigam refletir suas ações sobre a conduta de governos, empresas e setores da sociedade civil na busca em solucionar a questão socioambiental.

As práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), também consideradas infraestruturas verdes, utilizam processos naturais para melhorar a qualidade e gerenciar a quantidade de água, administrando a água da chuva em sua fonte e reduzindo a necessidade de infraestrutura adicional em muitos casos. Essas práticas são projetadas para restaurar a função hidrológica da paisagem urbana, cujo objetivo principal é reduzir o volume de água da chuva e,



consequentemente, reduz-se as cargas poluentes. As práticas de infraestrutura verde podem ser integradas nos recursos existentes do ambiente construído, incluindo ruas, estacionamentos e áreas ajardinadas pois são uma opção viável para o gerenciamento de áreas altamente urbanizadas (US EPA, 2015).

Nesse sentido, enquanto nos países mais desenvolvidos a ênfase em questões de drenagem urbana concentra-se nos aspectos relativos à qualidade da água coletada, no Brasil, o controle quantitativo das enchentes ainda é o principal objetivo das ações. A frequência e gravidade das inundações em algumas cidades e regiões metropolitanas, como no caso de Campinas, demonstram a necessidade de procurar soluções alternativas estruturais e não estruturais para tal problemática (CANHOLI, 2005).

O uso do termo infraestrutura normalmente está interligado à noção do urbano, onde os sistemas viário, sanitário, energético, e outras obras construídas, passam a ser denominados de infraestrutura cinza. O atual cenário urbano tem buscado cada vez mais estabelecer articulação com a infraestrutura verde, garantindo a manutenção e preservação dos sistemas que suportam a vida natural, bem como a contribuição à qualidade de vida da população (SANTOS, 2014).

Nos últimos anos os telhados verdes tornaram-se uma tendência na arquitetura e são amplamente utilizados em países como a Alemanha, Suécia, EUA, Japão e Cingapura (ZHANG *et al.*, 2015). A exemplo, tem-se o telhado verde sobre a unidade de tratamento e filtragem de água - *Seewasserwerk Moos* - em Wollishofen, Zurique, Suíça (Figura 10), que completou 100 anos em 2014. A estrutura foi construída em 1914 e mantém a impermeabilidade da membrana intacta mesmo após 100 anos de habitação dos 36.000 m<sup>2</sup> de lajes com uma diversa flora, incluindo uma comunidade de espécies raras de orquídeas (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Figura 10. Telhado verde de Seewasserwerk Moos - em Wollishofen, Zurique, Suíça.



Fonte: *Das Seewasserwerk Moos* (2015). Disponível em: <[https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/dib/Deutsch/BILDERwasserversorgung/4-Publikationen\\_Broschueren/Seewasserwerk%20\\_Moos.pdf](https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/dib/Deutsch/BILDERwasserversorgung/4-Publikationen_Broschueren/Seewasserwerk%20_Moos.pdf)>. Acesso em 14 mar. 2019.

Há mais de uma década a cidade de Portland, localizada nos Estados Unidos da América, tem promovido o desenvolvimento de estratégias que buscam conciliar políticas, educação e projetos urbanos com as funções oferecidas pelo meio ambiente natural. Em busca de concretizar estas estratégias, a cidade criou um sistema de infraestrutura verde, onde são aplicadas algumas tipologias com intervenções distintas. Dentre tais infraestruturas, destacam-se:

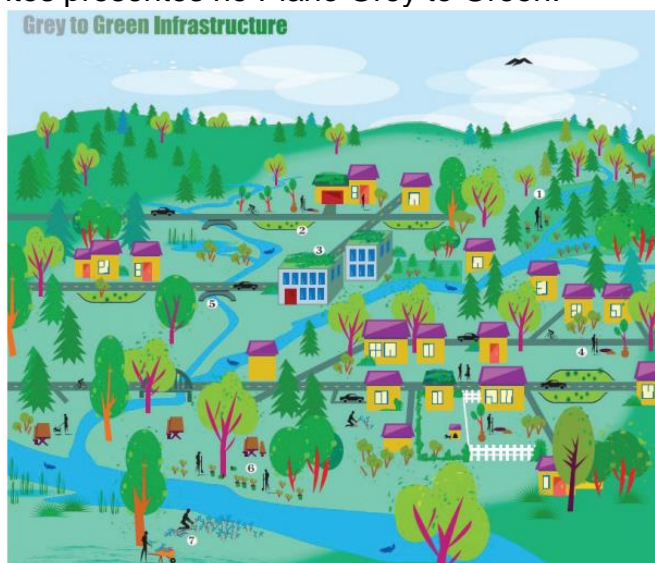
- Jardim de chuva: implantados no meio-fio do leito carroçável, a fim de captar o escoamento superficial que normalmente é carregado de poluentes;
- Canteiro pluvial: utilizados ao redor de edificações, apresentando função semelhante ao jardim de chuva, porém mais compacto;
- Biovaleta: são depressões preenchidas com vegetação, solo e outros elementos que auxiliam o processo de filtragem e limpeza da água pluvial;
- Pavimentação permeável: utilização de material permeável sobre o passeio;
- Lagoa pluvial: espaço que se destina à retenção de grandes volumes de água. Por estar sempre com uma quantidade mínima de água, a lagoa pluvial pode ser caracterizada como um ambiente alagado, passível de ser adaptado a projetos que visam atividades recreativas e de lazer;
- Telhado verde: edificações com cobertura vegetal que absorvem a água das chuvas, controlam as variações climáticas e contribuem com a eficiência energética das edificações;

- Grade verde: combinação entre diferentes tipologias que se adequam às características do local.

Desde o período de implantação do sistema de infraestrutura verde, Portland conseguiu reduzir o fluxo de picos de chuva em 85%; reduzir a poluição entre 80 e 95%; aumentar a infiltração das águas pluviais em 95%; plantar mais de 105 mil novas árvores e arbustos, além de sensibilizar a população (22 mil estudantes e 10 mil participantes comunitários) por meio da divulgação sobre o assunto (SANTOS, 2014).

No ano de 2008, a cidade lançou o programa chamado “*Grey to Green - going green for clean rivers*” ou “Cinza para Verde - ação verde para rios limpos”, para implementar uma rede de infraestrutura verde local, cujos elementos presentes neste Plano estão indicados na Figura 11.

Figura 11. Elementos presentes no Plano Grey to Green.



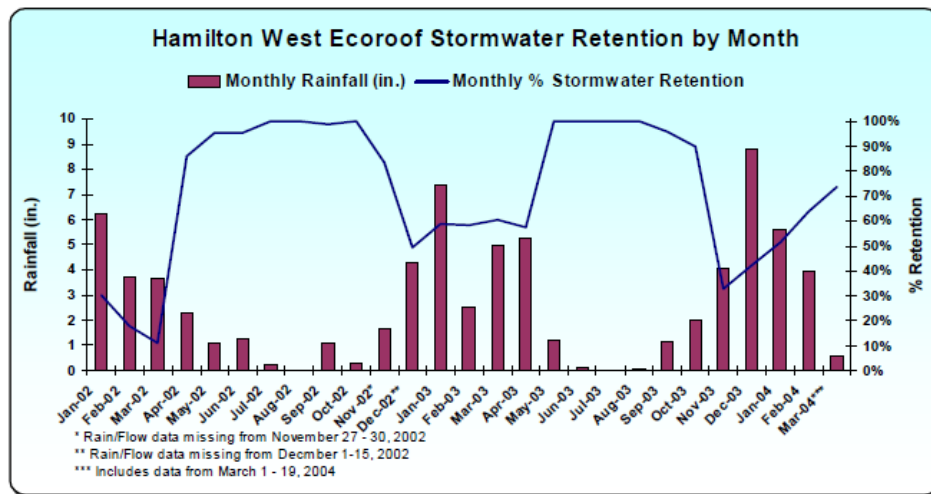
1 - aquisição de terras com potencial de transformação em área de proteção, 2 - ruas verdes, 3 - telhados ecológicos, 4 - arborização de ruas e quintais, 5 - manutenção de tubulação dos córregos, 6 - revegetação de áreas degradadas, 7 – controle de plantas invasoras.

Fonte: *Grey to Green, Working Green for Clean Rivers* (2010). Disponível em: <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/321433>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

Para a cidade de Portland, o uso de técnicas compensatórias representa uma importante estratégia sustentável das águas pluviais. As técnicas de desenvolvimento de baixo impacto gerenciam as águas pluviais na fonte que têm impactos positivos quanto ao volume de escoamento superficial e quanto à qualidade dessas águas.

A exemplo de um projeto-demonstração de telhado verde realizado na cidade e documentado no Relatório *Project Hamilton West Apartments Ecoroof* (2005), o gráfico apresentado na Figura 12 mostra a variação sazonal em porcentagem pela quantidade de água pluvial que este dispositivo é capaz de gerenciar.

Figura 12. Retenção de águas pluviais por mês do telhado verde aplicado ao edifício Hamilton West (Portland).



Fonte: Relatório *Project Hamilton West Apartments Ecoroof* - Serviços ambientais, Gestão sustentável de águas pluviais. Disponível em: <[www.portlandonline.com/bes](http://www.portlandonline.com/bes)>, 2005.

As colunas mostram a quantidade de precipitação recebida durante cada mês. A linha de conexão mostra a porcentagem da precipitação que o telhado verde retém. A partir das colunas de precipitação, Portland apresenta estações úmidas e secas, o que influencia o desempenho das águas pluviais. Durante os meses secos, o telhado verde retém e gerencia quase toda a água da chuva; nos meses chuvosos, essa estrutura administra volumes de água muito maiores do que um telhado convencional. É possível que eventualmente fique saturado, porém mesmo quando não retém toda a água, tende a retardar e filtrar o fluxo recebido.

De acordo com o relatório de projeto (*Hamilton West Apartments Ecoroof* [www.portlandonline.com/bes](http://www.portlandonline.com/bes), 2005), os dados mostram que o desempenho do dispositivo telhado verde está melhorando à medida que as plantas amadurecem. Durante os primeiros 16 meses de monitoramento, reteve uma média de 52,5% de todas as chuvas recebidas. Nos 12 meses seguintes, o telhado manteve 55,6% do total de chuvas, uma melhoria de 3%. No que diz respeito aos benefícios associados dos telhados verdes, destacam-se: a redução do custo de energia,



controle da poluição do ar e redução de calor, *habitat* de pássaros e insetos, maior período de vida útil do telhado e embelezamento urbano, tornando, portanto, estes dispositivos um patrimônio urbano valioso.

No Brasil, o sistema ainda é pouco utilizado e não tem normatização. Algumas cidades e estados, como Porto Alegre, Santa Catarina e Guarulhos (SP), têm leis e/ou instruções que incentivam a implementação das coberturas verdes em edificações públicas e privadas. Santos *et al.* (2013) simularam a dinâmica da água em dois telhados verdes com vegetações distintas para diferentes intensidades de precipitação na região de Pernambuco e verificaram uma redução no escoamento superficial entre 15% e 30% do total precipitado. Baldessar (2012), em um monitoramento de telhado verde na cidade de Curitiba, PR, verificou uma redução no escoamento pluvial da ordem de 31%.

Um exemplo de prédio verde brasileiro fica na cidade do Rio de Janeiro, é o edifício Marquês dos Reis, no Centro, apresentado na Figura 13 que, entre outras medidas, adotou telhado com vegetação para captar água da chuva.

Figura 13. Telhado verde do Edifício Marques dos Reis, no Centro do Rio de Janeiro.



Fonte: O GLOBO (2012). Disponível em: <[oglobo.globo.com/economia/rio20/prefeito-rebatecritica-ao-projeto-de-selo-verde-para-predios-5169637](http://oglobo.globo.com/economia/rio20/prefeito-rebatecritica-ao-projeto-de-selo-verde-para-predios-5169637)>. Acesso em 14 mar. 2019.

Em Nova York, foi elaborado o plano chamado de *New York Green Infrastructure Plan* ou Plano de Infraestrutura Verde de New York, no ano de 2008, que tem como escopo um plano de ação para administrar os problemas decorrentes das águas pluviais, que a cada ano carregam mais sujeira para os rios da cidade. Com o apoio do Departamento de Proteção Ambiental (DEP), foram construídos e são mantidos um número considerável de elementos como tetos verde, jardins de chuva, biovaletas em locais públicos como ruas, calçadas e escolas, e outras superfícies permeáveis (Figura 14). O programa prevê a captação de recursos através de acionistas da cidade e o monitoramento dos elementos implantados para que sua qualidade e eficácia possa ser avaliada (BLOOMBERG, 2011).

Figura 14. Construção de trincheiras de infiltração pelas ruas do bairro Brooklyn-NY.



Fonte: *NYC Green Infrastructure Plan* (2011).

A cidade de Pittsfield, Massachusetts, trabalhou para modernizar as calçadas existentes da rua North Street para implantar as chamadas “ruas verdes” com o principal objetivo de gerenciar as águas pluviais (Figura 15). A cidade atualizou o plano de paisagem original para incorporar três jardins de chuva, cuja execução necessitava considerar as condições urbanas e meteorológicas locais. Por exemplo, os jardins de chuva foram adaptados para bioinfiltração, com uma cobertura verde específica e plantas apropriadas que suportem as condições do clima da região enquanto auxilia na remoção de poluentes (US EPA, 2015).

Figura 15. North Street antes (em cima) e depois (abaixo) do projeto de implantação dos jardins de chuva.



Fonte: US EPA, 2015.

Além dos benefícios das águas pluviais, tal infraestrutura verde de baixo impacto funciona como “medidas calmantes” em um centro da cidade que está emergindo por se tratar de um centro artístico e cultural. O projeto contribuiu com sucesso para o objetivo de conectar o denso centro urbano da cidade com o verde das infraestruturas desenvolvidas.

Em 2012, a cidade de Grand Rapids, Michigan, atualizou o projeto da avenida *Plainfield Avenue* para incorporar alguns dos recursos de gerenciamento de águas pluviais. A estrada foi redesenhada com um sistema de biorretenção (Figura 16) que, segundo o relatório da US EPA (2015), reduziram 420.000 pés cúbicos (aproximadamente 11893 m<sup>3</sup>) de escoamento; 60% de sedimento e 65% de carga de fósforo, os quais afetavam diretamente o curso d’água do *Grand River* em eventos repentinos de inundações todos os anos. Além da redução do



escoamento, também foram registrados benefícios da qualidade da água, aumento da segurança dos pedestres e melhora na estética da área.

Figura 16. Jardins de chuva na Plainfield Avenue, na cidade de Grand Rapids, Michigan.



Fonte: US EPA, 2015.

Um fator relevante sobre a utilização da abordagem LID é que, de acordo com a nova concepção, o sistema de drenagem não pode ficar dissociado da infraestrutura das cidades, devendo ser tratado de forma a compor a paisagem urbana, a fim de promover sua valorização e integração ao meio urbano. (CARVALHO, 2013; MORAES e BORJA, 2014).



### 3.8. USO DO GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS

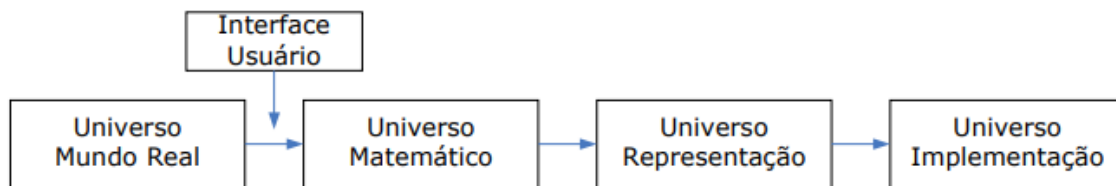
No planejamento urbano a ferramenta que vem sendo mais utilizada é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que utiliza um modelo para representar o mundo real através de dados geograficamente definidos. Esta forma de trabalho oferece ao gestor uma visão ampla, com informações precisas a respeito de um determinado aspecto da área a ser estudada. É indispensável a utilização de informações espaciais para a tomada de decisões, tanto no setor público como no setor privado, onde o planejamento territorial precisa respeitar regras para que se alcance o desenvolvimento sustentável (SESTARI; SEYDELL; BOZZA, 2007).

Em 1988, Hendrix *et al.* (*apud* CEREDA JUNIOR, 2011) já indicavam que o uso dos sistemas computacionais era capaz de governar bancos de dados georreferenciados, tornando-se imprescindível para o planejamento. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm se desenvolvendo cada vez mais, permitindo a formulação de diagnósticos, prognósticos, avaliação de opções de ações e manejos ambientais, reduzindo, substancialmente, o tempo e o custo de elaboração de um plano que envolve mapeamentos.

O Sistema de Informações Geográficas é uma tecnologia baseada em *hardware* e *software*, utilizada para descrição e análise do espaço geográfico, através da aquisição, armazenamento, estruturação, manipulação, análise e exibição gráfica de dados, integrando operações de banco de dados, análise estatística e mapeamento digital espacialmente referenciado (coordenadas geográficas) (CEREDA JUNIOR, 2011).

O principal desafio no Sistema de Informações Geográficas, de acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001), é capturar a natureza dos padrões e processos do espaço com o menor grau de reducionismo possível. Os mesmos autores afirmam que, por tal dificuldade de transposição, grande parte das aplicações em Geoprocessamento representa o espaço somente como um inventário, delimitando uma área de estudo e apresentando-a, sem o entendimento global. Para possibilitar o entendimento e transposição do universo real para o universo computacional, Gomes e Velho (1995 *apud* CEREDA JUNIOR, 2011) propõem o paradigma dos quatro universos, representado na Figura 17:

Figura 17. Paradigma dos quatro universos.



Fonte: Gomes e Velho (1995).

Pelas definições dos autores, o Universo do Mundo Real inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema (solo, clima, vegetação, lotes etc.); já o Universo Matemático (ou conceitual) inclui as definições matemáticas formais das entidades a serem representadas, com classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizados) e especialização destas nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno ou dados de Sensoriamento Remoto).

No Universo de Representação, as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado, distinguindo-se, das representações matricial e vetorial. Já o Universo de Implementação é onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidas, por codificação em linguagem de computador (CEREDA JUNIOR, 2011). No âmbito do planejamento, especificamente o ambiental, os SIGs se destacam pela capacidade de apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, holisticamente ou um resultado analítico, com a utilização de diversos dados ambientais, que são processados entre as etapas de diagnóstico e seleção de opções, ou seja, aquelas que utilizam métodos que envolvem análise espacial, sistemas de listagens, matrizes e modelos (SANTOS; CARVALHAIS e PIRES, 1997).

Para desenvolver análises, os dados ou modelo de informação devem ser organizados em níveis, chamados por *layers* de apresentação e de maneira que não necessariamente se passe de um nível a outro numa sequência obrigatória, possibilitando a obtenção de uma infinidade de combinações de dados e comparações entre diferentes ações (SANTOS; CARVALHAIS e PIRES, 1997). Pode-se dizer, então, que um Modelo Digital do Terreno (MDT) nada mais é do que uma representação matemática da realidade geográfica, onde se tem como

conhecido um conjunto finito de pontos de coordenadas x, y e z, a partir das quais se interpolam todas as informações relativas à superfície pela qual tais pontos fazem parte (CEREDA JUNIOR, 2011).

Esse modelo, o MDT, é o método que melhor satisfaz as necessidades à visualização de uma determinada área, permitindo diversas opções como: salientar o relevo, selecionar áreas com determinada cota, observar a imagem a três dimensões e criar perfis, por exemplo. Porém, há a necessidade de se diferenciar uma representação vetorial de uma representação matricial (ou *raster*) (CEREDA JUNIOR, 2011). Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001), a representação vetorial é a mais conveniente quando se necessita armazenar coordenadas com precisão, definidas através de coordenadas cartesianas x e y. A representação matricial, por sua vez, consiste numa malha que define uma relação regular, mas arbitrária, entre polígonos para preservar os dados geográficos, sendo neste caso o mundo real simbolizado por uma matriz de células endereçadas pelas intersecções de linhas e colunas, associadas a um valor referente ao seu atributo.

A aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas é de fundamental importância para o desenvolvimento de estudos de diversas áreas, uma vez que se realiza a análise de grande quantidade de dados, com relações complexas entre eles, no entanto, os SIGs possuem limitações e é preciso reconhecê-las para evitar erros futuros (MORATO; KAWAKUBO e LUCHIARI 2003).

Por meio da análise espacial torna-se possível representar os fenômenos ambientais e antrópicos, a partir da mensuração de indicadores ambientais e da identificação de padrões e relacionamentos espaciais, como por exemplo o processo de urbanização e sua expansão. Quando aplicada em estudos de áreas urbanas, a análise espacial permite compreender as interações do processo de ocupação em conjunto com a transformação do espaço, permitindo avaliar o planejamento adequado para dimensionar problemas decorrentes dessa expansão urbana, como é o caso do potencial risco a inundação. Em áreas com elevada densidade populacional, o problema das enchentes urbanas pode estar associado aos aspectos físicos e ao tipo de uso e ocupação da terra que, por análise espacial, permite-se identificar a suscetibilidade de tais eventos (MARQUES; SILVA e CAMARGO, 2017).

Os SIG permitem estudos através do cruzamento e análises complexas de dados, úteis ao planejamento urbano, composto por informações detalhadas dos vários seguimentos que direcionam o processo de gestão administrativa (REIS, 2015). No caso dos estudos ambientais, por meio do geoprocessamento, o uso de dados obtidos por sensores e levantamentos de campo, propicia a confecção de mapas que representam os fenômenos existentes sobre a superfície terrestre aplicando-se uma simbologia específica.

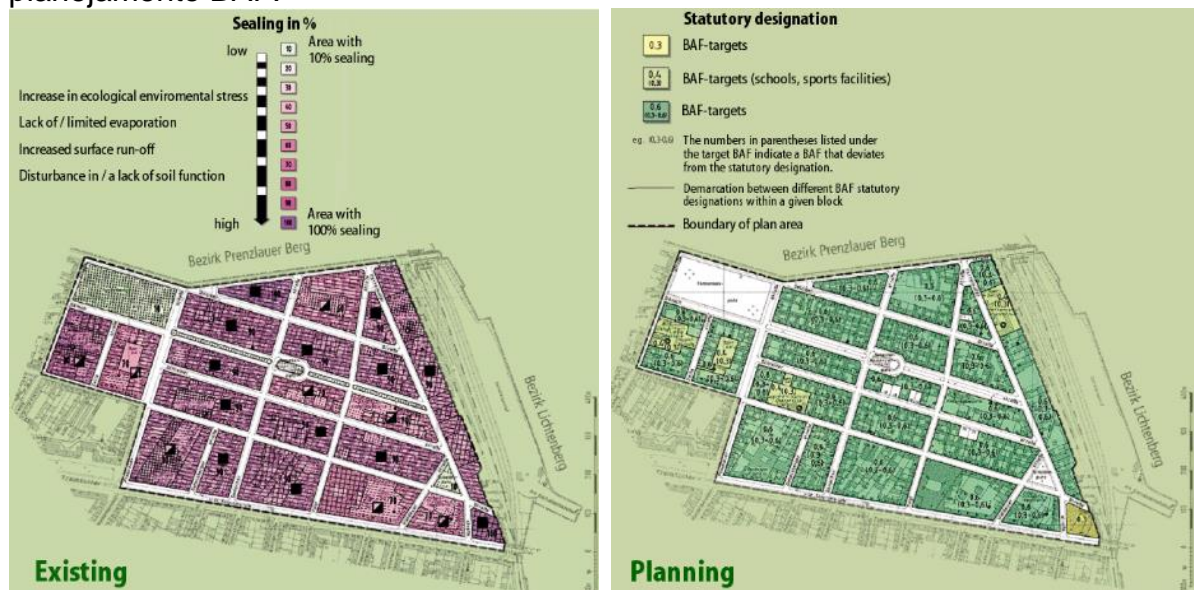
### **3.9. MÉTODO BAF – BIOTOPE AREA FACTOR**

Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação de pico e o aumento do volume do escoamento superficial, uma vez que o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Com as vazões de pico definidas para cada coeficiente de escoamento superficial calculado nesta pesquisa, será sugerida a aplicação de um indicador de sustentabilidade como medida de baixo impacto para as áreas de estudo. Este é denominado método BAF (Fator Biótopo de Área) desenvolvido e aplicado com sucesso em Berlim, na Alemanha para mensurar as áreas “ecologicamente efetivas” das áreas selecionadas através da utilização de coeficientes de impermeabilização das superfícies. O objetivo é calcular as novas vazões de pico ( $Q_p'$ ) a partir das medidas propostas pelo BAF e identificar qual será o valor encontrado do coeficiente de *run off* ( $C'$ ).

O fator biótopo de área (BAF) foi desenvolvido a partir da década de 1980 em Berlim e introduzido em 1994 como requisito obrigatório dentro do escopo do planejamento da paisagem, conforme exemplo apresentado na Figura 18. (KAŻMIERCZAK; CARTER, 2010).

Figura 18. Visão geral do Plano Paisagístico de Berlim: existente e com planejamento BAF.



Fonte: SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION (2018).

De acordo com Richard (1990), os consideráveis danos ecológicos no centro da cidade de Berlim, resultantes das múltiplas demandas de uso em uma área geográfica extremamente confinada, foram intensificados pela pressão de desenvolvimento devido ao uso e ocupação do espaço, tanto em áreas residenciais quanto em locais de infraestrutura comercial. A parcela do lote disponível estabelecia limites cada vez mais restritivos às medidas de área designadas a proteger e desenvolver o ecossistema, o que tornava essencial que os padrões ecológicos fossem formulados e estipulados em relação aos locais como uma exigência para proteger e desenvolver qualidades ambientais para todos os tipos de uso das estruturas na área do centro da cidade.

Embora o BAF tenha sido introduzido no ordenamento do território como medida de conservação da natureza, o fornecimento de vegetação em áreas densamente urbanizadas tem efeito significativo para atenuar os impactos decorrentes, principalmente a ocorrência de ilhas de calor e o risco de inundações por eventos intensos de precipitação (KAŹMIERCZAK; CARTER, 2010).

Segundo Richard (1990), semelhante aos parâmetros de planejamento urbano que regulam as dimensões dos tipos de uso das estruturas, como a área bruta e o índice de uso e ocupação, o BAF expressa a área de um lote que serve

como um local para plantas ou assume outras funções para o ecossistema. Assim, contribui para padronizar os seguintes objetivos de qualidade ambiental:

- Subsidiar e melhorar o microclima (qualidade do ar);
- Contribuir para o desenvolvimento da função do solo e do balanço hídrico;
- Criar e melhorar a qualidade do hábitat animal e vegetal;
- Melhorar o ambiente residencial.

Contudo, o fator biótopo de área (BAF) é uma abordagem específica voltada para garantir e ampliar a presença de vegetação no ambiente construído. O objetivo principal é assegurar que uma dada proporção de uma determinada área seja coberta por vegetação (SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION, 2018).

### **3.10. CONTROLE DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE CAMPINAS**

Como já citado, a urbanização impermeabiliza os solos provocando aumento dos volumes de águas escoados superficialmente, das velocidades dos escoamentos e a redução do tempo de resposta da bacia. De maneira geral, o gerenciamento de drenagem das cidades brasileiras é realizado pelas prefeituras municipais. Entretanto, inexistente uma visão global que integre esse gerenciamento ao planejamento urbano, visto que os problemas de inundação decorrem, segundo Braga (1994), principalmente da rápida expansão urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias.

Para a conveniente seleção entre as muitas alternativas possíveis ao planejamento de drenagem urbana, é necessário a consolidação de políticas que dispõem de critérios gerais de projeto, operação e manutenção. Também são importantes os dados físicos da bacia, hidráulicos, hidrológicos, de uso e ocupação da área de estudo, os dados de qualidade da água, a regulamentação para a aprovação de projetos (escopo mínimo, eficiências, custos e aspectos ambientais), os planos de financiamento (agências internacionais, recursos locais) e as políticas fiscais (taxas de melhoria, descontos para incentivar práticas de conservação, etc.) (CANHOLI, 2005).

De acordo com Tucci e Genz (1995), um dos princípios importantes sobre o controle de enchentes que deve ser considerado em um Plano Diretor é o estabelecimento de um Plano de Drenagem Urbana, o que já ocorre em alguns municípios. As atividades contempladas baseiam-se em: analisar as bacias urbanas e as faixas ribeirinhas, estabelecendo-se normas de inspeção de projeto e execução de ocupação e obras urbanas; realizar estudos para regulamentar o tipo de ocupação e os critérios que devem ser seguidos que servirá de orientação aos engenheiros projetistas e à fiscalização dos projetos; por fim, estabelecer equipes para operação e manutenção dos sistemas de drenagem urbana, fiscalização dos projetos e elaboração de estudos de acompanhamento e planejamento.

O Plano Diretor estratégico de Campinas (2017) destaca a necessidade da elaboração de Planos de Drenagem, visando prevenir e controlar enchentes, inundações, erosões e assoreamentos. Campinas vem sofrendo problemas relacionados a enchentes, inundações e alagamentos, consequência do crescimento desordenado do Município, somados à falta de estudos e planejamento voltados à hidrologia urbana no Brasil.

Verifica-se que os problemas de enchentes do Município, quanto a sua origem, são de dois tipos: o primeiro diz respeito a um sistema de drenagem obsoleto, que não mais atende as necessidades de sua área de atuação, devido ao aumento das áreas impermeabilizadas decorrentes do crescimento urbanístico da cidade; já o segundo tipo é resultado da ocupação indiscriminada dos fundos de vale e áreas de inundação, portanto um problema estrutural e de difícil solução, tendo em vista as complicações sociais que a desobstrução dos fundos de vale podem acarretar. Outro problema verificado é a geometria da confluência de alguns córregos que tem sido responsável pela ocorrência de inundações em vários pontos (VICENTINI, 1993).

A drenagem urbana de Campinas concentra as suas dificuldades no combate aos pontos críticos sujeitos às inundações, enchentes e alagamentos, produtos de uma urbanização desorganizada, com altos índices de adensamento e de impermeabilização na região central, que concentra a maior parte dos casos. Segundo o Plano Diretor (2017), o monitoramento hidrológico precisa ser ampliado, a caracterização da malha hídrica do Município e a atualização do mapa de uso e ocupação do solo devem ser prioridade para a definição de medidas estruturais.

Além disso, o estudo da cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais é bastante interessante, no que diz respeito a gerar investimentos que permitam custear a implantação e manutenção do sistema, assim como minimizar os riscos e prejuízos causados pela urbanização e preservar o meio ambiente. O investimento do poder público na área de drenagem urbana no Brasil, voltado a sustentabilidade, aproveitando, quando possível, estas águas para usos diversos, tende a aliviar o sistema urbano de drenagem e, conseqüentemente, reduzirá os eventos extremos frequentes e geradores de grandes prejuízos materiais e de perdas de vidas (COSTA *et al.*, 2018).



#### 4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS OBJETO DE ESTUDO

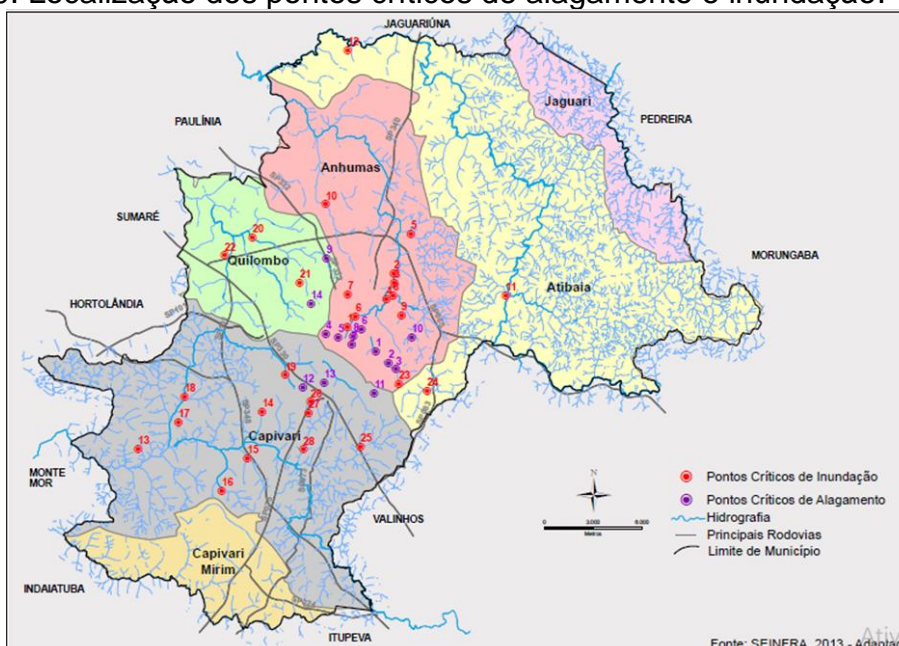
Nesta pesquisa as áreas de estudo basearam no Plano Diretor Estratégico (2017) do município de Campinas. Segundo ele, as duas sub-bacias mais problemáticas da cidade quanto a episódios de inundações, principalmente pelo elevado grau de urbanização verificado nessas áreas, são as do Ribeirão Anhumas e do Córrego Piçarrão, este localizado na bacia hidrográfica Capivari.

Existem deficiências nos sistemas de drenagem urbana do município e, de acordo com as ocorrências registradas pela Defesa Civil de Campinas, 14 pontos de alagamentos estão quantificados no sistema de microdrenagem existente e 28 pontos críticos de enchentes ou inundações estão localizados no sistema de macrodrenagem, dos quais sete pontos já foram sanados.

A avaliação e diagnóstico destas áreas críticas, elaborados pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, especializados na Figura 19, revelam como principais causas das enchentes:

- Presença de construções muito próximas ao leito ou avançando sobre os córregos;
- Adoção de parâmetros técnicos inadequados para o projeto das canalizações, com reflexo na capacidade das mesmas;
- Processo desordenado de impermeabilização da cidade.

Figura 19. Localização dos pontos críticos de alagamento e inundação.



Fonte: SEINFRA, 2013 – adaptado. Disponível no Plano Diretor Estratégico do Município de Campinas (2017).

#### **4.1. MICROBACIA DO CÓRREGO PIÇARRÃO**

A microbacia do Córrego Piçarrão drena uma área de 9.000 hectares, cortando o município no seu eixo leste/oeste. Em 1993, Vicentini já apontava essa bacia de contribuição como 85% urbanizada, ocupada por inúmeras indústrias de pequeno, médio e grande porte; cinco hospitais, sendo um municipal, o Dr. Mario Gatti, um universitário, o Celso Pierro, e três particulares: o Hospital Santa Edwiges, o Álvaro Ribeiro e o Hospital Samaritano; e um cemitério, o da Saudade.

A bacia é cortada pela Rodovia Anhanguera e margeada pela SP 101. O Córrego Piçarrão apresenta dezoito afluentes, sendo que a maior contribuição está localizada na sua margem esquerda. Ainda, segundo o Plano Diretor estratégico (2017), aproximadamente 50% da área da bacia encontra-se na área urbana, sendo que o restante da bacia está localizado, na sua maior parte, na área de expansão urbana e uma pequena porção na área rural. O córrego possui sua nascente no bairro Vila Georgina e deságua no Rio Capivari após correr aproximadamente 22 km. Sua altitude varia entre 555 metros e 785 metros e seu uso e ocupação do solo pertencem às zonas 1 a 4, destinadas a habitações unifamiliares e multifamiliares horizontais; 14 e 15, destinadas às indústrias; 11 a 13, ao uso comercial, de serviço e institucional; 5 a 8, destinadas ao uso habitacional multifamiliar vertical; e 9 e 10, ao uso misto habitacional, comercial, serviço e institucional. No ano de 1988, o Córrego Piçarrão foi canalizado em um trecho de aproximadamente 5 km, que vai de sua nascente até a região próxima aos antigos curtumes, sem, entretanto, ter solucionado os problemas de enchentes da região.

#### **4.2. BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS**

O Ribeirão Anhumas é tributário do rio Atibaia, que, por sua vez, vai se constituir num dos formadores do Rio Piracicaba. A bacia do Ribeirão das Anhumas tem cerca de 70% de sua área localizada na cidade de Campinas (SESTARI; SEYDELL; BOZZA, 2007).

Está localizada na parcela de ocupação urbana mais antiga do município, situada a região central da cidade, com áreas residenciais, de comércio e serviços instalados sobre as nascentes dos córregos que formam o ribeirão, aterradas ou canalizadas, desrespeitando áreas de proteção permanente (APPs). O mesmo ocorre nas planícies fluviais, várzeas naturais do ribeirão que se encontram

ocupadas e a população sofre anualmente os efeitos do período chuvoso, devido às inundações (COSTA; ROSSI; COELHO, 2005).

O processo de urbanização foi intenso e ocorreu em um curto espaço de tempo sem o planejamento adequado, com isso a vegetação que protegia suas margens praticamente inexistente e o acúmulo de lixo e entulho é visível por quase toda a sua extensão. De acordo com COSTA; ROSSI; COELHO (2005), por se tratar de um dos principais fornecedores de água na Região Metropolitana de Campinas, o ribeirão das Anhumas torna-se um manancial de interesse regional, onde os problemas acima citados precisam ser equacionados.

A bacia do Ribeirão das Anhumas está contida na mancha urbana de Campinas, tendo representativa proporção ainda permeável. Como outras bacias urbanizadas, o sistema de drenagem natural está parcialmente antropizado e apresenta problemas na macrodrenagem, com inundações frequentes. Existe, ainda, um vazio entre a porção urbana da bacia, cujo desenvolvimento da área ainda permeável deve ser ocupado de maneira planejada (JACOMAZZI, 2015).

Dada a extensão das inundações do ribeirão das Anhumas e do córrego Piçarrão, bem como tais influências no trecho urbano, fica evidente a necessidade da elaboração de um Plano Diretor de Macrodrenagem com vistas às obstruções existentes e à expansão da urbanização.

A elaboração de cenários hipotéticos futuros nas duas bacias, além de ajudar no planejamento do uso e ocupação, possibilitará modelar e avaliar as alternativas de medidas estruturais e não estruturais, quantificando quais as mais efetivas. Os cenários, considerando intensificação das chuvas, devem demonstrar o impacto do aumento das vazões nas inundações das áreas de estudo.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando o planejamento da drenagem urbana, foram realizadas revisão de literatura e pesquisa documental em guias, manuais técnicos, livros e artigos científicos que, com tal embasamento, viabilizaram o estudo da adoção de técnicas compensatórias baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, através de um método alemão BAF, no planejamento urbano de duas bacias críticas de Campinas quanto a episódios de enchentes. O objetivo é a mitigação de problemas oriundos de alagamentos, ou da sobrecarga da rede de drenagem convencional, melhorando aspectos naturais, como infiltração no terreno e retardamento do escoamento superficial, além de ganhos paisagísticos.

Para atingir esse objetivo, com base nas recomendações das técnicas de LID (desenvolvimento de baixo impacto), é necessário minimizar o escoamento superficial o mais próximo de sua origem, com redução de áreas impermeáveis e adoção de medidas pontuais, de pequeno porte, que possam contribuir com a gestão das águas pluviais nas bacias dos córregos Piçarrão e Ribeirão Anhumas. Para tanto, a pesquisa dividiu-se em três etapas principais:

1. Uso de geoprocessamento para análise de dados através da elaboração dos mapas temáticos:

- Uso e ocupação do solo;
- Pontos críticos de inundação;
- Área de drenagem à montante dos pontos críticos;
- Grau de impermeabilização (cálculo dos coeficientes de *run off* das áreas escolhidas por meio de métodos chuva-vazão).

2. Análise hidrológica de cada área de drenagem para determinar as vazões de pico e volumes ( $m^3/s$ ) de cheias atuais, possibilitando simular os hidrogramas de cheia baseando-se em um método chuva X vazão, com base nas condições de impermeabilização atual.

3. Após essa simulação, propõe-se a aplicação do método BAF para as áreas selecionadas através do uso de técnicas de LID, demonstrando os cálculos de como tais propostas poderão reduzir as vazões de cheia e, conseqüentemente, os episódios de alagamentos.

A primeira etapa da pesquisa foi desenvolvida pela aplicação da geotecnologia como ferramenta de análise e simulação, com destaque para os

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em questão, que utilizam técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento das informações geográficas.

A disponibilidade de informações espaciais é o ponto de partida para a tomada de decisões e, com isso, foi realizada a análise de dados geoespaciais provenientes de três escalas principais de fontes de dados: nacional, estadual e municipal, conforme apresentado na Tabela 2. Estes dados foram preparados, recortados e organizados no *software* ArcGIS® versão 10.3.1. A partir dos mesmos foram gerados mapas temáticos que subsidiaram as análises posteriores.

Tabela 2. Fonte dos dados geoespaciais levantados para o diagnóstico da microbacia do córrego Piçarrão e da bacia do córrego Ribeirão Anhumas, Campinas/SP.

<b>DADOS</b>	<b>FONTE</b>	<b>NÍVEL</b>
Bacias Hidrográficas	Portal GeoAmbiental	Municipal
Hidrografia	Portal GeoAmbiental	Municipal
Relevo (carta SRTM Campinas-SP)	Embrapa	Nacional
Uso e ocupação do solo	DataGEO	Estadual
Suscetibilidade à inundação	DataGEO	Estadual

O processo de mapeamento utilizando uma base cartográfica confiável e adequada, assim como as características hidráulicas da superfície da bacia constituem-se de um material indispensável. Por exemplo, a utilização de mapas de risco de inundação pode representar um grande avanço nas ações não-estruturais do controle de cheias, como no caso dessa pesquisa (SOUSA, 2012).

Também, adotou-se como técnica a interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, na identificação dos elementos componentes das áreas objeto de estudo, através do Google Earth®. Esse procedimento foi necessário para agilizar e facilitar o mapeamento, porém sem dispensar os trabalhos de campo, no detalhamento e comprovações desses elementos e todo o conteúdo de dados foi carregado em SIG (ArcGIS® 10.3.1) para posterior análise dos dados.

Segundo Porto (1995), duas abordagens são de uso consagrado em hidrologia urbana, o método racional, aplicável a bacias urbanas com área de drenagem inferior a 2 km<sup>2</sup>, e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, recomendado para bacias de maior porte. Em ambos, a vazão de projeto ou o hidrograma de cheias são determinados a partir da duração de chuva considerada.

Para a elaboração dos Mapas de Uso e Ocupação do solo da microbacia do córrego do Piçarrão e da bacia do córrego Ribeirão Anhumas, foram utilizados o dado geoespacial de delimitação das bacias hidrográficas fornecido pela Prefeitura Municipal de Campinas, disponibilizados no Portal GeoAmbiental, e o dado de ‘Mapa de uso e cobertura da terra da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ)’, pela base de dados Sistema Ambiental Paulista, o DataGEO.

A classificação adotada discrimina e delimita as seguintes formas de uso da terra, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra.

<b>CLASSE DE USO DA TERRA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Área Edificada</b>	Áreas residenciais, comerciais e de serviços.
<b>Loteamento</b>	Área de expansão urbana; loteamentos em implantação; Existência de quadras, com ou sem cobertura vegetal; Arruamentos com traçados definidos, com ou sem pavimentação.
<b>Espaço Verde Urbano</b>	Praças, parques e demais áreas verdes
<b>Grande Equipamento</b>	Edificação comercial: galpão não industrial de área expressiva. Ex. shopping; Edificações agrícolas: Ex. estufas, granjas, silos, etc.
<b>Extração Mineral</b>	Extração de substâncias minerais.
<b>Pastagem</b>	Áreas de pasto melhoradas ou cultivadas destinadas ao pastoreio; Solo coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas; Formação irregular e presença de áreas para sombreamento e trilhas.
<b>Cultura Perene</b>	Cultura de ciclo longo que permite colheitas sucessivas.
<b>Cultura Semiperene</b>	Cana-de-açúcar.
<b>Cultura Temporária</b>	Cultura de plantas de curta ou média duração.
<b>Reflorestamento</b>	Formações arbóreas artificiais e homogêneas; Composta por espécies nativas ou exóticas (pinus e eucalipto); Textura lisa e existência de limites regulares e de carregadores definidos.
<b>Solo Exposto</b>	Áreas de intervenção antrópica terraplanadas ou aradas; Áreas em transição de uso ou uma fase intermediária do mesmo uso; Áreas onde processos erosivos expuseram o solo.
<b>Afloramento Rochoso</b>	Áreas de exposição natural de lajeados rochosos.
<b>Mata</b>	Formação vegetal natural composta predominantemente por elementos arbóreos; Matas ciliares e áreas de vegetação expressivas, exceto praças ou parques. Exclui reflorestamentos e área campestre;

<b>Campo Natural</b>	Vegetação natural não arbórea; estrato gramíneo-lenhoso com ou sem arbustos.
<b>Área Úmida</b>	Áreas próximas aos corpos d'água, com delimitação irregular e sem presença de árvores e arbustos.
<b>Curso d'água</b>	Corpos d'água lóticos.
<b>Lagos, lagoas, represas</b>	Corpos d'água lênticos.

Fonte: Adaptado de 'Ficha técnica mapeamento UGRHI051' pelo Sistema Ambiental Paulista (DataGEO), 2013.

De acordo com o Plano Diretor Estratégico (2017), existem 3 (três) pontos críticos de inundação na macrodrenagem não sanados na microbacia do Córrego Piçarrão e 7 (sete) pontos não sanados na bacia do Ribeirão Anhumas, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Mapeamento dos pontos críticos de inundações de macrodrenagem no Município de Campinas.

PONTO CRÍTICO	LOCALIZAÇÃO			DESCRIÇÃO DO PROBLEMA
	BAIRRO	LOGRADOURO	BACIA	
1	Guanabara	R. Álvaro Muller e outras	Anhumas	A cota de implantação da rua no trecho entre as ruas Sacramento e Barata Ribeiro é mais baixa que a cota de topo do canal, portanto, haverá necessidade de reformulação do sistema de drenagem.
4	Jd. Flamboyant	Av. Palestina	Anhumas	Verifica-se o alagamento dos apartamentos térreos do Cond. Resid. Marcondes Filho. Suspeita-se que o empreendimento se encontra na planície de inundação do Ribeirão Anhumas (a ser confirmado).
6	Cambuí	Av. Orosimbo Maia	Anhumas	O sistema de drenagem não atende mais a demanda da bacia. Haverá necessidade de reformulação das travessias sobre o córrego bem como de uma verificação na seção do canal.
7	Taquaral	Av. Dr. Heitor Penteado (Kartódromo)	Anhumas	Para reformulação do sistema de drenagem da região do Kartódromo haverá necessidade de readequação do vertedor da lagoa do Taquaral e da tubulação entre o vertedor e o Ribeirão Anhumas.
8	Jd. Boa Esperança	R. Antonio Camargo	Anhumas	O sistema de drenagem existente não funciona adequadamente devido à cota de implantação da rua (muito baixa em comparação com a cota de topo do canal). O sistema deverá ser reavaliado.

9	Jd. Flamboyant	NR Buraco do Sapo	Anhumas	Ocupação das APPs por sub-habitações. O problema é agravado devido à suscetibilidade da área a deslizamentos.
10	Cidade Universitária	Av. Catharina S. Vicente	Anhumas	As travessias sob as avenidas Romeu Tórtima, Atilio Martini, Estrada da Rhodia e Rua 22 não atendem mais a demanda da bacia necessitando de adequação.
17	Jd. Florence I	Rua 148/149 (núcleos)	Piçarrão	Sub-dimensionamento da passagem sob a linha férrea provocando o alagamento das sub-habitações localizadas à montante da passagem.
18	Satélite Íris I	-	Piçarrão	Ocupação das APPs por sub-habitações.
19	Jd. Paulicéia	NR Novo Paulicéia	Piçarrão	Ocupação da planície de inundação por sub-habitações.

Fonte: SEINFRA, 2013 – adaptado. Disponível no Plano Diretor Estratégico do Município de Campinas, 2017. Adaptado pela autora.

Para o mapeamento dos pontos críticos de inundação foram utilizados os dados geoespaciais divulgados no Portal GeoAmbiental, em formato *shapefile* da delimitação das bacias, os pontos selecionados de inundação disponíveis no Sistema Ambiental Paulista (Portal DataGEO) com base nas áreas de risco de inundação extraídas do SGI-RISCOS-IG - Sistema Gerenciador de Informações de Riscos do Instituto Geológico, desenvolvido pelo Instituto Geológico (2014, camada “Suscetibilidade à inundação em Campinas-SP, Pontos Selecionados”) e feita a sobreposição no Google Earth® junto ao mapeamento dos pontos críticos de macrodrenagem dado pelo Plano Diretor.

A partir do mapeamento dos pontos críticos de inundação, as áreas de drenagem foram delimitadas pela aplicação da ferramenta de *Hidrology* disponível na aba *Spatial Analyst Tools* na *ArcToolBox* do *software* ArcGIS® 10.3.1, utilizando os dados de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite (BRASIL, 2018).

Através da identificação dos padrões urbanos de ocupação e seus respectivos graus de adensamento, estabeleceram-se as classes de impermeabilização do solo. A classificação utilizada foi através do coeficiente volumétrico de escoamento (C) do método de I-Pai-Wu (Tabela 5) que classifica a impermeabilização do solo em 5 graus: muito baixo; baixo; médio; alto e muito alto.



Para atender os objetivos deste trabalho, a classificação foi simplificada em 3 graus: baixo, médio e alto, baseada na classificação de uso e ocupação já definida junto às imagens aéreas do Google Earth®.

Tabela 5. Coeficiente volumétrico de escoamento C.

<b>GRAU DE IMPERMEABILIDADE DO SOLO</b>	<b>COBERTURA/TIPO DE SOLO</b>	<b>USO DO SOLO</b>	<b>C</b>
<b>Muito Baixo</b>	- terreno seco e muito arenoso; - terreno com vegetação densa; -terrenos planos	- zonas verdes não urbanizadas; - zonas de proteção de mananciais com vegetação densa; - parques e áreas vazias.	<b>0,10</b>
<b>Baixo</b>	- com vegetação rala e/ou esparsa; - solo arenoso seco; -terrenos cultivados	- zonas verdes não urbanizadas; -zonas especiais (universidade, cemitério, aeroporto, hipódromo)	<b>0,30</b>
<b>Médio</b>	- terrenos com manto fino de material poroso; - solos com pouca vegetação; - gramados amplos; - declividades médias	- zona residencial com lotes amplos (> 1000 m <sup>2</sup> ); - zona residencial rarefeita	<b>0,50</b>
<b>Alto</b>	- terrenos pavimentados; - solos argilosos; - terrenos rochosos estéreis ondulados; - vegetação quase inexistente	- zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m <sup>2</sup> ); - zona de apartamentos e edifícios comerciais.	<b>0,70</b>
<b>Muito Alto</b>	- terreno pavimentado com declividades fortes; - terrenos de rocha viva não porosa; - terreno estéril montanhoso; - vegetação inexistente.	- zona de concentração de prédios comerciais e/ou residenciais.	<b>0,90</b>

Fonte: Planidro, *apud* Paiva (2001).

Assim tem-se:

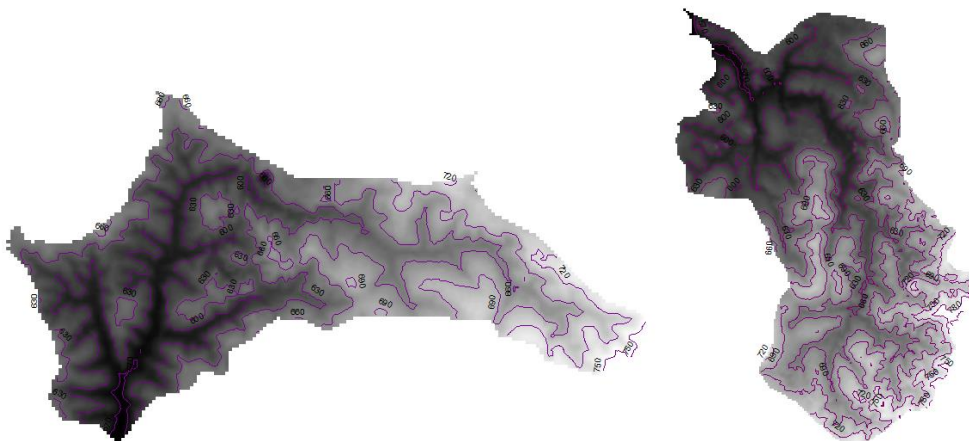
- Baixo: áreas com pouca ocupação, como os loteamentos em fase inicial de instalação, onde predominam as áreas permeáveis (sem cobertura) com poucas edificações;
- Médio: áreas com ocupações mais adensadas e consolidadas; com considerável presença de áreas verdes (arborização, praças ou quintais). Predominantemente áreas de uso residencial; com considerável espaço para novas edificações (lotes sem área construída);
- Alto: áreas onde o adensamento urbano é alto e praticamente todos os espaços já foram edificados. O padrão de ocupação é variado: residencial médio e baixo; comercial e equipamentos urbanos.

Esta simplificação, utilizando o agrupamento das classes para cada tipo de uso e ocupação do solo, permitiu que a análise do grau de impermeabilização do solo fosse feita pelo programa ArcGIS® aplicando-se a ferramenta *Dissolve*, cujos resultados são apresentados a seguir.

A partir dos mapas de impermeabilização do solo da bacia do córrego do Ribeirão das Anhumas e da microbacia do córrego do Piçarrão, efetuou-se também a quantificação do grau de impermeabilização para cada área de drenagem. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Clip* do ArcGIS®, com as informações do grau de impermeabilização e com o recorte das áreas de drenagem.

No cálculo da intensidade da chuva crítica de cada ponto de inundação apontado foi necessário calcular o tempo de concentração ( $t_c$ ), representado pela fórmula de Kirpich (3). Neste cálculo foi considerada a diferença de cotas (H) das áreas de drenagem por meio das curvas de nível mapeadas. As informações de curva de nível foram extraídas dos mesmos dados geoespaciais de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite, pelas ferramentas *Raster surface > Contour* do ArcGIS®. A princípio, a Figura 20 são mostradas as imagens geradas das curvas de nível para as duas áreas objeto de estudo.

Figura 20. Dados de curva de nível obtidos pela imagem SRTM de relevo.



Elaborado pela autora.

Com os dados das áreas de drenagem e hidrografia das áreas objeto de estudo, também com o auxílio do *software* ArcGIS®, foi possível calcular o comprimento do talvegue (L). Em seguida, o tempo de concentração  $t_c$  foi aplicado na fórmula (5), que expressa o cálculo de intensidade da chuva para Campinas.

Na segunda etapa da pesquisa, para a análise hidrológica, foram utilizados dois métodos de chuva X vazão para estimar as vazões de enchentes, sendo eles o Método Racional e o Método de I-Pai-Wu. Destaca-se que os dados de uso e ocupação do solo e o período de retorno nos diferentes modelos será o mesmo.

Em ambos os métodos, é preciso verificar qual a chuva intensa que deverá ser adotada para cada área de drenagem em análise. A chuva que causará mais e maiores danos, denominada chuva crítica, será aquela que durar o mesmo tempo consumido pela água que precipitar no ponto mais distante da bacia para alcançar a seção desejada, denominado tempo de concentração da bacia  $t_c$ . Existem várias equações para o cálculo do tempo de concentração que levam em consideração, geralmente, o comprimento do talvegue, sua declividade, a rugosidade da superfície e a área percorrida. A fórmula mais utilizada, de acordo com Bidone e Tucci (1995), está expressa pela equação (3).

Após o cálculo de  $t_c$ , foi definido qual o risco ou período de retorno que se pode aceitar. Para obras de drenagem urbana o DAEE e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), estabelece o uso dos tempos de retorno em função da ocupação da obra, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Tempo de retorno em função do tipo de obra.

<b>Abrangência</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Tempo de recorrência (anos)</b>
<b>Microdrenagem</b>	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
<b>Macro drenagem</b>	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

No caso dessa pesquisa, serão calculadas intensidades de chuva para o tempo de recorrência de 100 anos, utilizando a equação de chuva para Campinas, elaborada por Vieira (1981 *apud* ZUFFO 2004) e expressa a seguir:

$$i = \frac{2524,86.T^{0,1359}}{(t+20)^{\frac{0,9483}{T^{0,007}}}} \quad (5)$$

Onde o T é o período de retorno em anos e t é o tempo de concentração em minutos.

O coeficiente C<sub>1</sub> do método de I-Pai-Wu, que é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado será calculado a partir da fórmula:

$$C_1 = \frac{C_2}{2} \cdot \left[1 + \left(\frac{1}{1+F}\right)\right] \quad (6)$$

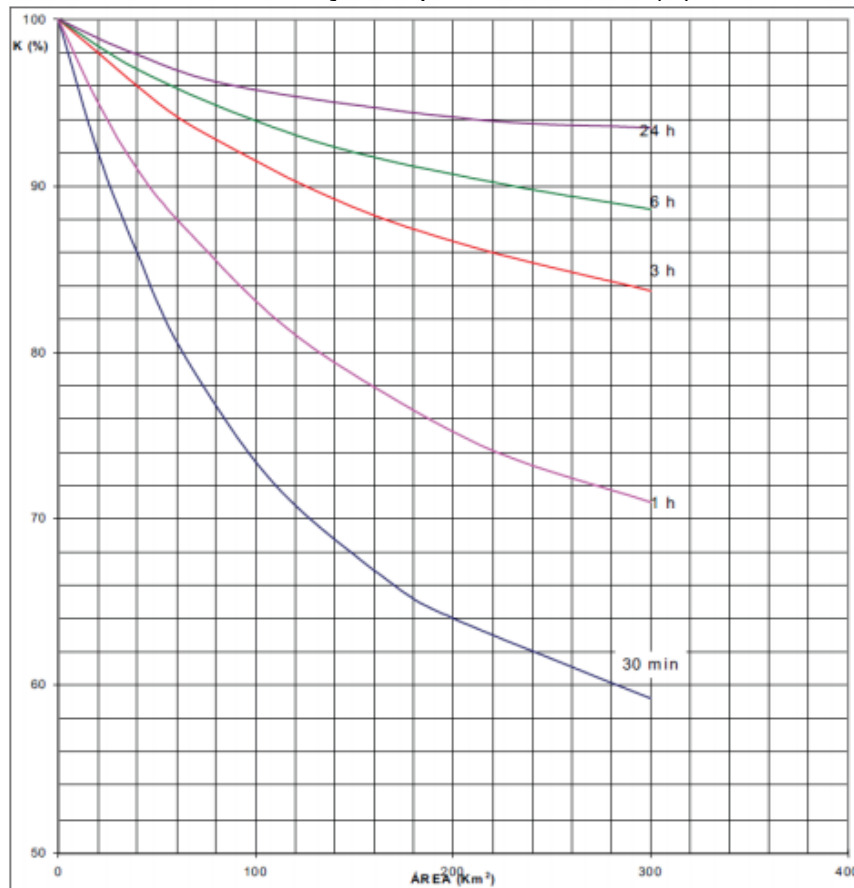
Onde C<sub>1</sub> é o coeficiente de escoamento superficial; F é o fator de forma da bacia que relaciona a forma da bacia com um círculo de mesma área, ou seja, mede a taxa de alongamento da bacia, determinado pela equação:

$$F = 0,866.L.A^{-0,5} \quad (7);$$

por exemplo, no caso de uma bacia ser exatamente circular, F = 1; e C<sub>2</sub> é o coeficiente volumétrico de escoamento, este é equivalente ao coeficiente C do Método Racional, que por sua vez será obtido através de ponderações entre as áreas e seus respectivos valores recomendados de C, conforme as tabelas definidas.

A desigualdade de distribuição das chuvas na bacia será levada em conta mediante a aplicação de um coeficiente redutor K de distribuição de chuvas obtido da Figura 21:

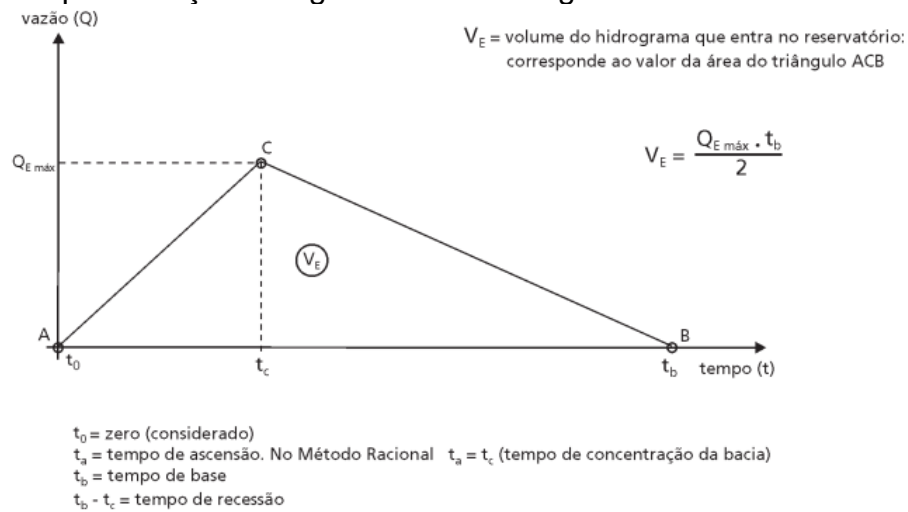
Figura 21. Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).



Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo (1999).

Com esses parâmetros obtêm-se o hidrograma relativo à chuva de projeto, o qual será do tipo triangular, apresentando o volume total de escoamento superficial e a vazão de cheia. Na Figura 22 é apresentado o HU (hidrograma unitário) triangular proposto que fornecerá o volume escoado para o coeficiente de *run off* calculado, onde  $Q_p$  é a vazão de pico em  $m^3/s$ ;  $t_p$  é o tempo de pico a partir da origem em minutos;  $d$  é a duração da precipitação em minutos;  $t_c$  é o tempo de concentração em minutos;  $t_r$  (ou  $2t_c$ ) é o tempo recessão do hidrograma unitário.

Figura 22. Representação triangular de um hidrograma de enchente.



Fonte: São Paulo - DAEE (2005).

A partir disso, foram simulados cenários de chuva, em áreas com diferentes índices de impermeabilização, de modo a verificar o impacto da distribuição espacial da chuva no hidrograma resultante. Isto permitirá comparar o volume escoado para cada coeficiente de *run off* calculado para, posteriormente, propor medidas de intervenção nas áreas selecionadas por meio do método BAF, visando o controle e prevenção das enchentes.

Na terceira etapa da pesquisa, propõe-se a aplicação do método BAF para as áreas selecionadas através do uso de técnicas de LID. Tal método expressa a razão entre a soma total das áreas parciais com função ecológica do lote em seu estado atual, aplicando um fator de ponderação, apresentado na Tabela 7, de acordo com o tipo de superfície, pela área total do lote, o que resultará no valor padrão mínimo a ser alcançado "BAF alvo" conforme apresentado na Tabela 8.

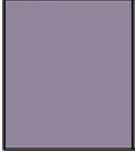








$$\text{BAF} = \frac{\text{Área das superfícies ecologicamente eficientes}}{\text{Área total do terreno}} \quad (8)$$

Exemplo:

$$\text{BAF} = \frac{((\text{área 1} \times \text{fator 1}) + (\text{área 2} \times \text{fator 2}) + (\text{área 3} \times \text{fator 3}) + \text{etc.})}{\text{Área total do terreno}} \quad (9)$$

Fonte: SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION (2018). Traduzido e adaptado pela autora.

Tabela 7. Classificação de áreas de acordo com o Fator de Ponderação.

Fator de ponderação por m <sup>2</sup> do tipo de superfície	Descrição dos tipos de superfície
 <p>Superfícies impermeáveis <b>0,0</b></p>	<p>Superfície impermeável sem crescimento de plantas (concreto, asfalto, lajes com sub-base sólida)</p>
 <p>Superfícies parcialmente impermeáveis <b>0,3</b></p>	<p>Superfície permeável sem crescimento de plantas (tijolo, lajes com sub-base de areia ou cascalho)</p>
 <p>Superfícies semiabertas <b>0,5</b></p>	<p>Superfície permeável com crescimento de plantas (cascalho, cobertura de grama, pavimentação de tijolos tipo favo de mel)</p>
 <p>Superfícies com vegetação, sem relação com a terra abaixo <b>0,5</b></p>	<p>Superfícies com vegetação com menos de 80 cm de cobertura do solo (pequenos arbustos)</p>
 <p>Superfícies com vegetação, sem relação com a terra abaixo <b>0,7</b></p>	<p>Superfícies com vegetação com mais de 80 cm de cobertura do solo (pequenos arbustos e árvores de pequeno porte)</p>
 <p>Superfícies com vegetação, ligadas com o solo abaixo <b>1,0</b></p>	<p>Vegetação ligada ao solo abaixo, favorecendo o desenvolvimento da flora e da fauna (árvores de médio porte)</p>
 <p>Infiltração de águas pluviais por m<sup>2</sup> de área de telhado <b>0,2</b></p>	<p>Infiltração de águas pluviais em superfícies com vegetação existente para recarga de águas subterrâneas</p>
 <p>Vegetação vertical, até 10 m de altura <b>0,5</b></p>	<p>Vegetação que cobre as paredes e muros exteriores, sem janelas (altura ideal até 10 m)</p>
 <p>Vegetação no telhado <b>0,7</b></p>	<p>Cobertura extensiva e intensiva (telhado com vegetação)</p>

Fonte: SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION, 2018. Traduzido e adaptado pela autora.

O BAF fixa valores alvo que representarão a estabilidade das áreas, estes valores alvo variam de 0,3 e 0,6 dependendo do tipo de uso (residencial, comercial, público, hospitalar, técnico) e da infraestrutura presente, como indicado na Tabela 8.

Tabela 8. Valores alvo de BAF.

BAF Alvo para		
Alterações dos locais de construção Criação de espaço adicional ou aumento do grau de cobertura (DC)		Novas estruturas
DC	BAF	BAF
<b>Unidades residenciais</b> (apenas uso residencial)		
até 0,37	0,60	0,60
0,38-0,49	0,45	
acima de 0,50	0,30	
<b>Uso comercial</b> (somente uso comercial)		
	0,30	0,30
<b>Uso geral</b> (empresas comerciais e de centrais de negócios administrativos)		
	0,30	0,30
<b>Instalações públicas</b> (para fins culturais ou sociais)		
até 0,37	0,60	0,60
0,38-0,49	0,45	
acima de 0,50	0,30	
<b>Escolas</b> (ensino geral e serviços de desportos)		
	0,30	0,30
<b>Creches e Centros de Day Care</b> (hospitais e unidades de cuidados diários)		
até 0,37	0,60	0,60
0,38-0,49	0,45	
acima de 0,50	0,30	
<b>Infraestrutura técnica</b>		
	0,30	0,30

Fonte: SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION (2018). Traduzido e adaptado pela autora.

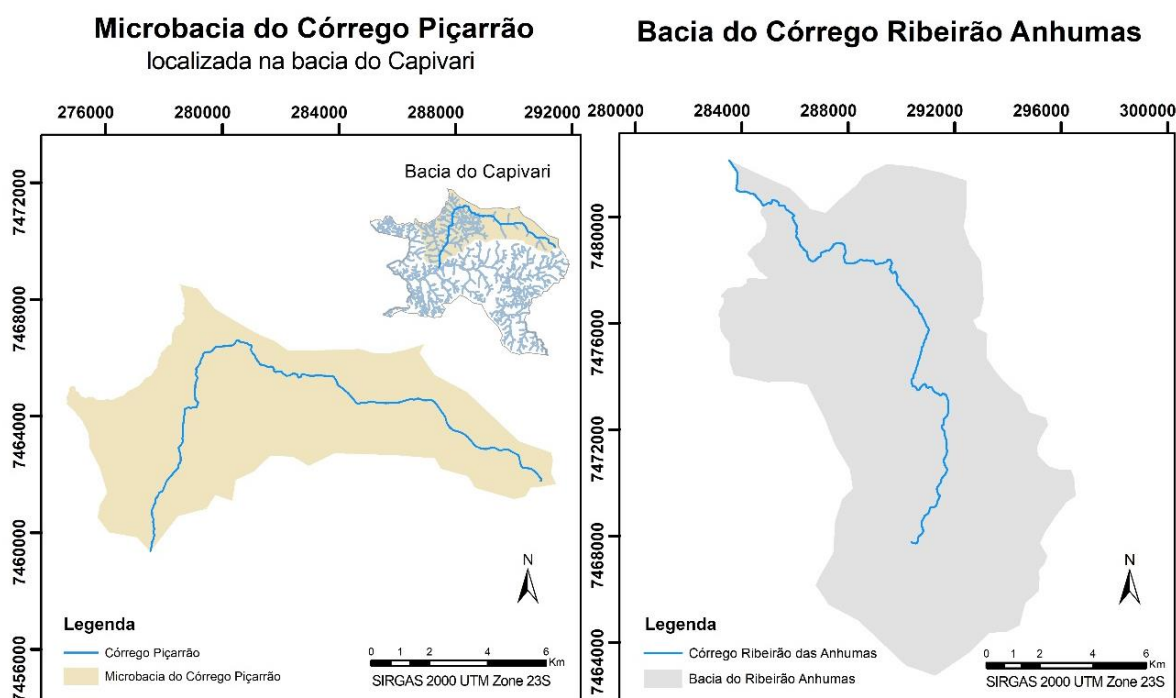
Nas áreas muito desenvolvidas, ou densamente urbanizadas, com muitos usos mistos, a percentagem de espaços abertos e verdes é extremamente baixa, sendo necessário padronizar-se um grau máximo de construção no lote e impermeabilização do solo para se alcançar um padrão mínimo de qualidade ambiental, a ser determinado pelo BAF. No planeamento para aplicação do BAF é realizado um levantamento de como se encontra a impermeabilização/ocupação do solo, e como se espera que fique após a aplicação do plano de melhoria (BETTINE *et al.*, 2012).



## 6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na elaboração dos Mapas das Bacias Hidrográficas de Campinas - SP, pelo *software* ArcGIS® 10.3.1, foram utilizados os dados geoespaciais de delimitação das bacias hidrográficas e hidrografia fornecidos pela Prefeitura Municipal de Campinas, disponibilizados no Portal GeoAmbiental, e o resultado obtido está apresentado na Figura 23.

Figura 23. Mapas das áreas objeto de estudo.



Fonte: Portal GeoAmbiental  
Delimitação das bacias hidrográficas. Data da publicação: 2006 ; Edição: 2015  
Hidrografia. Data da publicação: 2003 ; Edição: 2014  
Autor: Natália Esteves Carvalho  
Orientador: Sueli do Carmo Bettine

Elaborado pela autora.

### 6.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

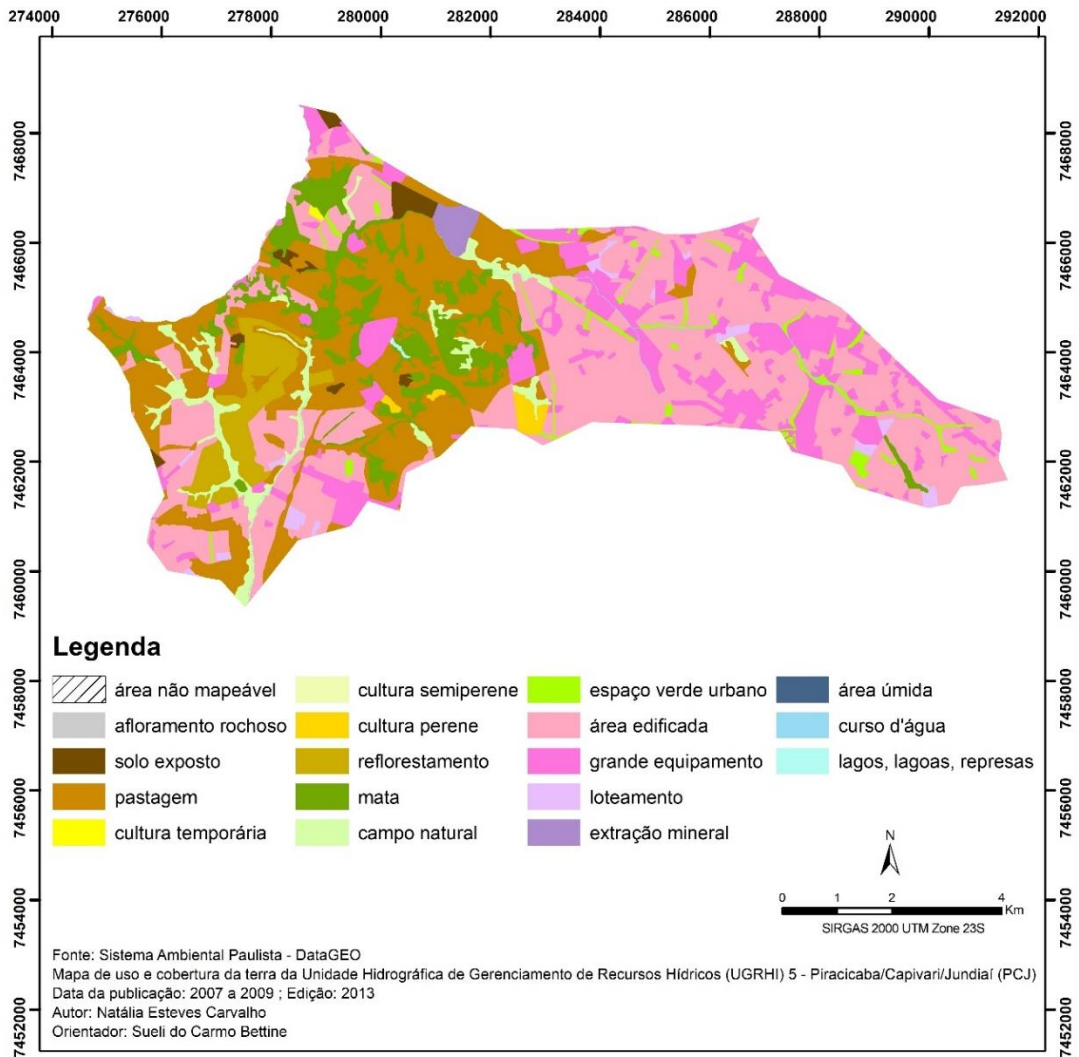
A classificação do uso e ocupação do solo da bacia do córrego do Ribeirão das Anhumas e da microbacia do córrego do Piçarrão, foi necessária para subsidiar o diagnóstico e mapeamento dos graus de impermeabilização das áreas de estudo.

Um dos objetivos do projeto foi o de apontar as áreas onde o grau de impermeabilização se tornou tão alto a ponto de impedir a infiltração da água da chuva, causando consequências na recarga do lençol freático e aumentando o

escoamento superficial que contribui para o alagamento de determinados pontos da cidade de Campinas.

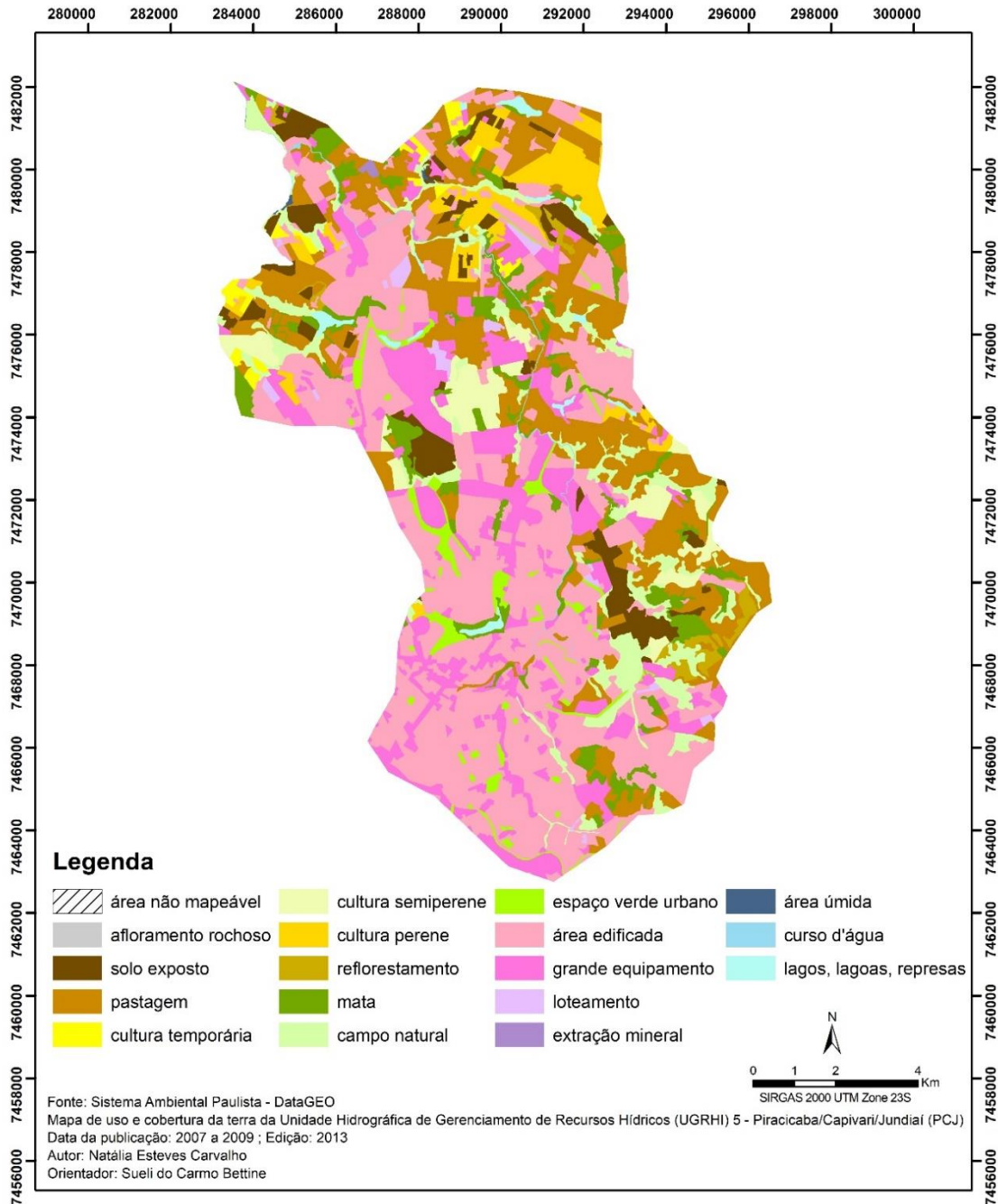
As Figuras 24 e 25 apresentam o resultado obtido por essas informações trabalhadas no *software* ArcGIS® 10.3.1, que demonstram a situação atual do mapeamento mais recente do uso e ocupação do solo nas áreas de estudo.

Figura 24. Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Córrego Piçarrão.



Elaborado pela autora.

Figura 25. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Córrego Ribeirão Anhumas.



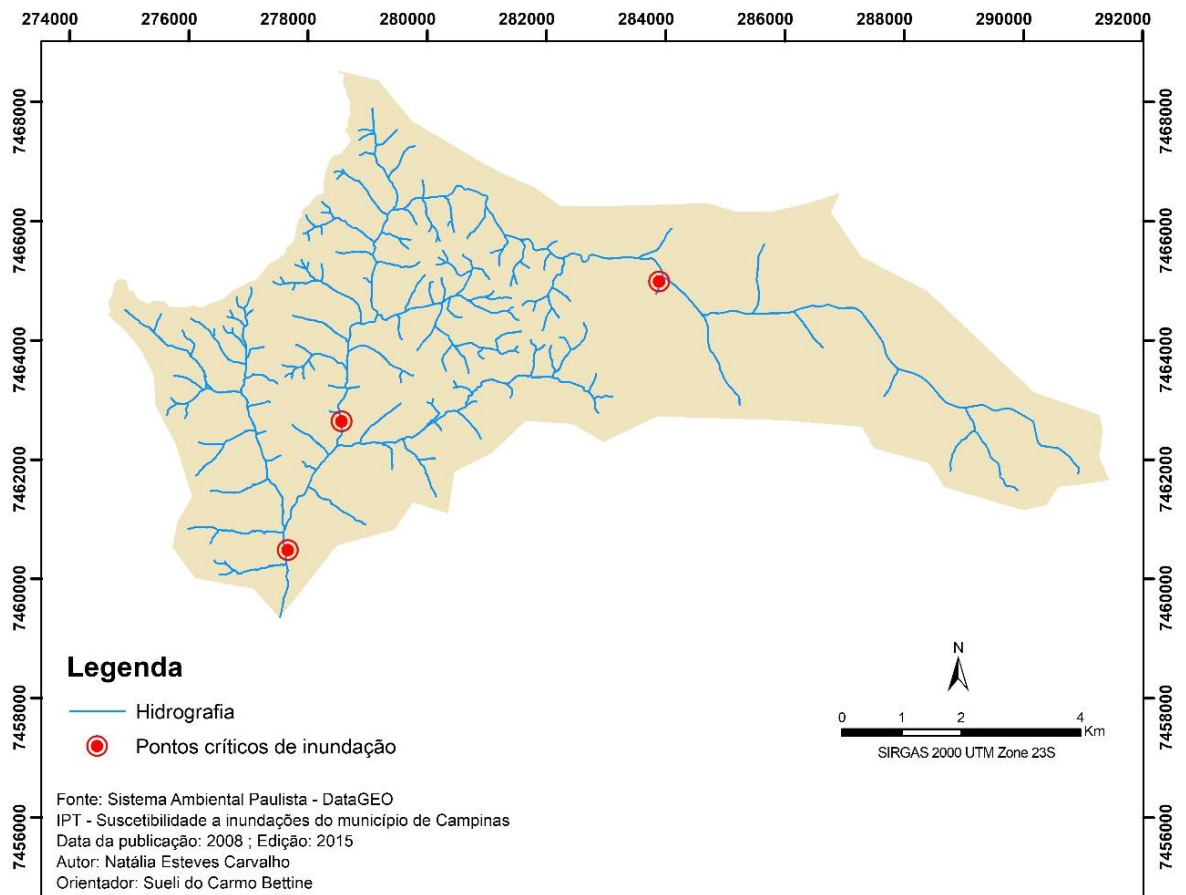
Elaborado pela autora.

É possível perceber o intenso grau de urbanização ao qual está sujeita tanto a microbacia do córrego Piçarrão bem como a bacia do córrego do Ribeirão Anhumas. Verifica-se a grande predominância de áreas edificadas, cuja classificação inclui áreas residenciais, comerciais e de serviços, além de grandes equipamentos que abrangem indústrias, ETEs, ETAs, aterros, unidades de transporte, cemitério, áreas institucionais, etc. (SÃO PAULO, 2018).

## 6.2. PONTOS CRÍTICOS DE INUNDAÇÃO

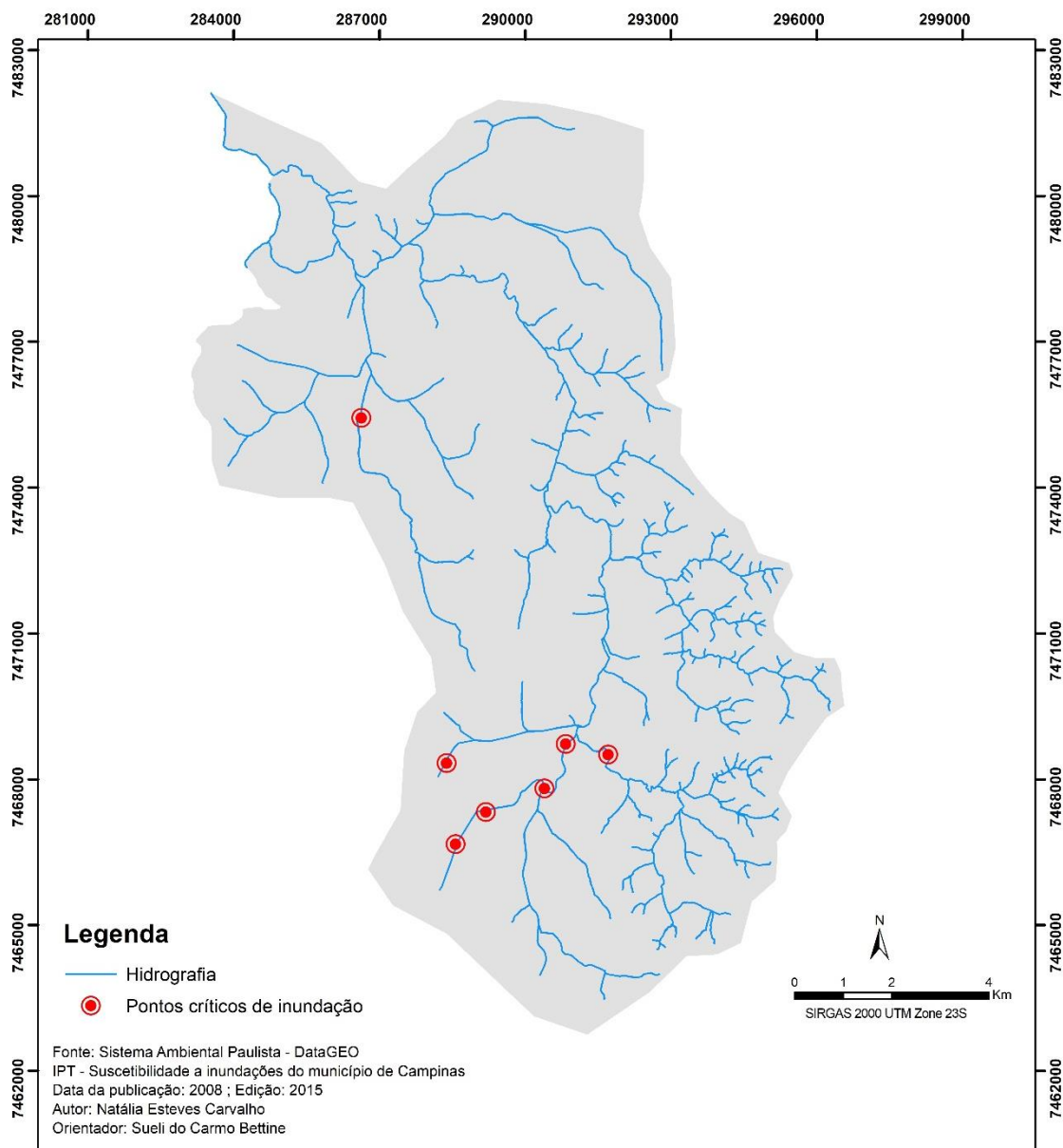
A análise dos pontos críticos de inundação permitiu trabalhar com os dados georreferenciados, conforme apresentado nas Figuras 26 e 27, possibilitando delimitar posteriormente as áreas de drenagem desses pontos.

Figura 26. Mapa dos pontos críticos de inundação da microbacia do Córrego Piçarrão, de acordo com o Plano Diretor Estratégico (2017).



Elaborado pela autora.

Figura 27. Mapa dos pontos críticos de inundação da bacia do Córrego do Ribeirão Anhumas, de acordo com o Plano Diretor Estratégico (2017).



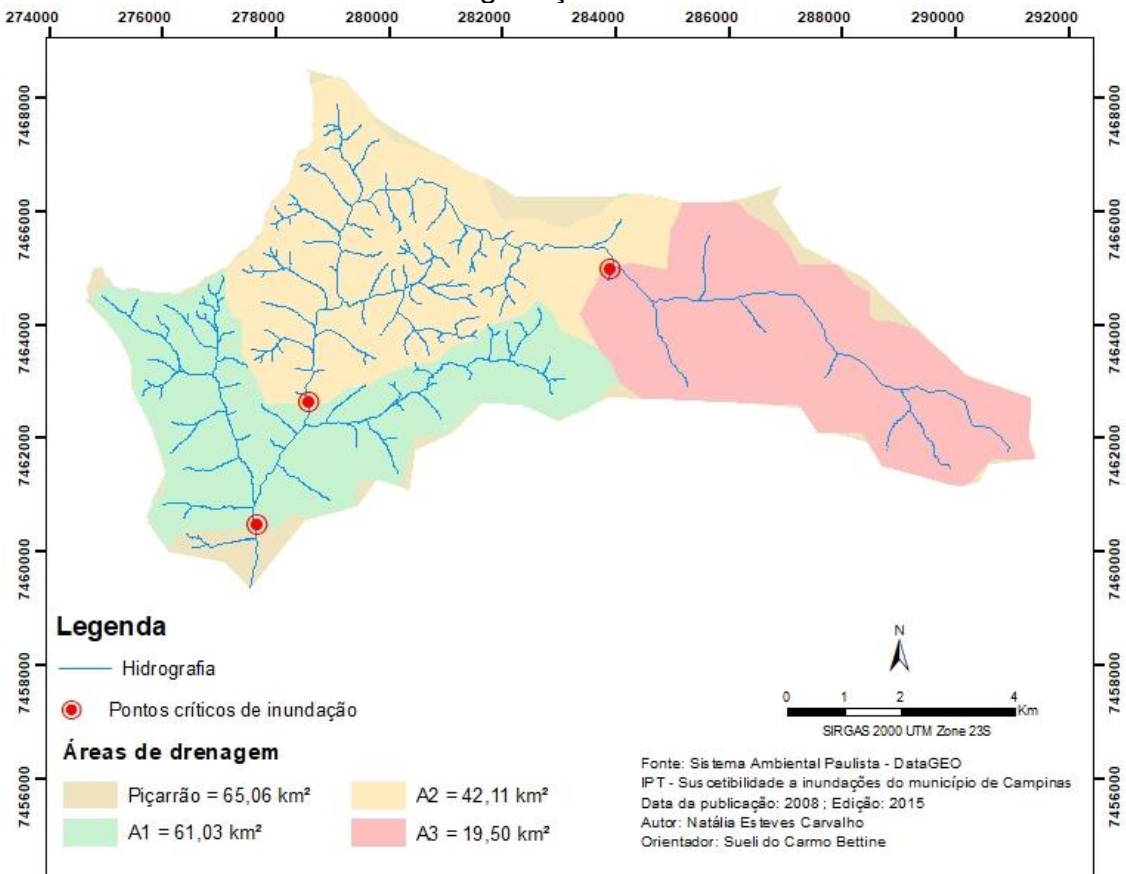
Elaborado pela autora.



### 6.3. ÁREAS DE DRENAGEM

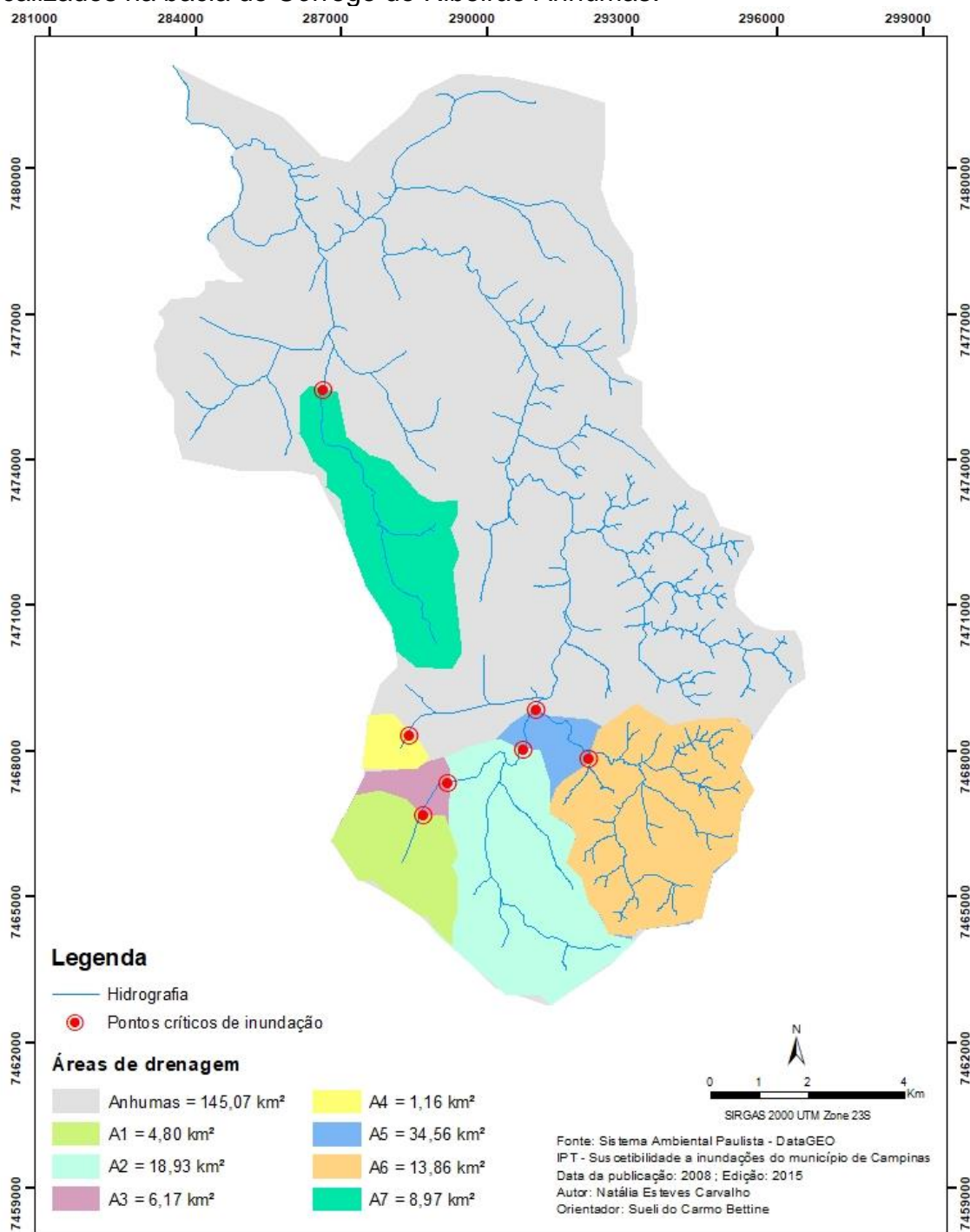
O resultado das áreas de drenagem para cada ponto crítico de inundação está representado nas Figuras 28 e 29.

Figura 28. Mapa das áreas de drenagem dos pontos críticos de inundação localizados na microbacia do Córrego Piçarrão.



Elaborado pela autora

Figura 29. Mapa das áreas de drenagem dos pontos críticos de inundação localizados na bacia do Córrego do Ribeirão Anhumas.

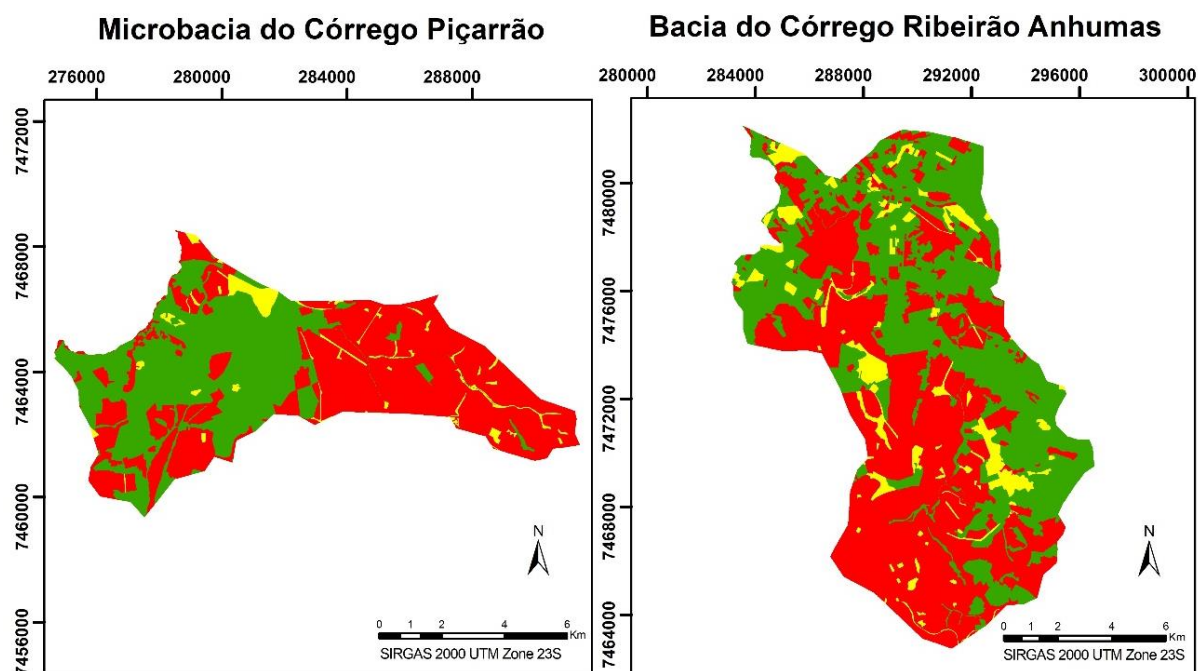


Elaborado pela autora.

## 6.4. GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

Os resultados obtidos para o grau de impermeabilização do solo estão representados pelos mapas da Figura 30.

Figura 30. Mapa do grau de impermeabilização do solo das áreas de estudo.



### Legenda

**Grau de impermeabilização** ■ Baixo ■ Médio ■ Alto

Fonte: Sistema Ambiental Paulista - DataGEO

Mapa de uso e cobertura da terra da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ)

Data da publicação: 2007 a 2009 ; Edição: 2013

Autor: Natália Esteves Carvalho

Orientador: Sueli do Carmo Bettine

Elaborado pela autora.

A Figura 31 mostra a distribuição, em porcentagem, desses graus de impermeabilização das áreas de estudo. Tal resultado foi obtido a partir do uso dos seguintes dados, apresentados na Tabela 9:

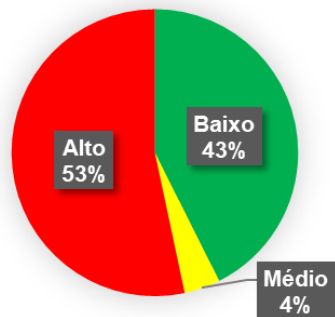
Tabela 9. Dados de área do grau de impermeabilização do solo das áreas objeto de estudo.

Grau de impermeabilização	Microbacia do Córrego Piçarrão Área km <sup>2</sup>	Bacia do Córrego Ribeirão Anhumas Área km <sup>2</sup>
Baixo	27,72	62,05
Médio	2,64	10,44
Alto	34,71	72,59

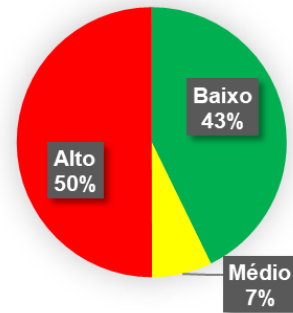


Figura 31. Gráficos com a distribuição do grau de impermeabilização do solo das áreas de estudo.

Distribuição do grau de impermeabilização do solo da Microbacia do Córrego Piçarrão



Distribuição do grau de impermeabilização do solo da Bacia do Córrego Ribeirão Anhumas



Elaborado pela autora.

Observa-se que ambas as áreas de estudo apresentam similaridade, aproximadamente 50% do total das áreas encontram-se com um grau alto de impermeabilização. Isso se deve principalmente ao alto grau de urbanização ao longo dos cursos d'água e dos empreendimentos comerciais. Diante disto, adotou-se o coeficiente de escoamento  $C = 0,30$  para grau baixo de impermeabilização;  $C = 0,50$  para grau médio e  $C = 0,80$  para grau alto. A Tabela 10 mostra o enquadramento do uso e ocupação do solo para cada grau de impermeabilização adotado.

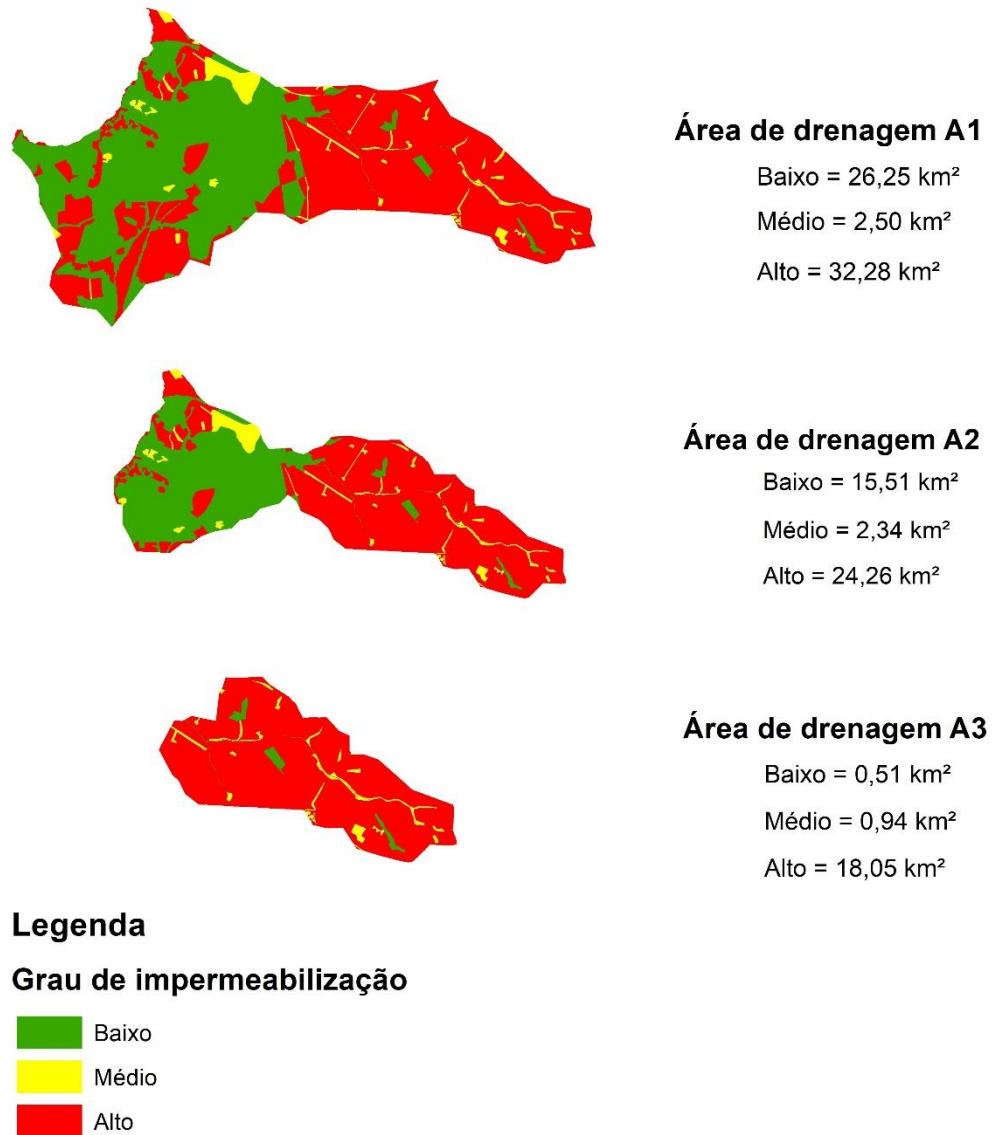
Tabela 10. Classificação simplificada do coeficiente de escoamento superficial adaptado do método de I-Pai-Wu, para o sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra - DataGeo, 2013.

Grau de impermeabilização	Uso e ocupação do solo	C
<b>Baixo</b>	Campo natural	<b>0,3</b>
	Cultura temporária	
	Lagos, lagoas, represas	
	Mata	
	Cultura perene	
	Pastagem	
	Reflorestamento	
	Curso d'água	
<b>Médio</b>	Espaço verde urbano	<b>0,5</b>
	Extração mineral	
	Solo exposto	
<b>Alto</b>	Grande equipamento	<b>0,8</b>
	Área edificada	
	Loteamento	

Elaborado pela autora.

As Figuras 32 e 33 apresentam os resultados obtidos para a quantificação do grau de impermeabilização de cada área de drenagem.

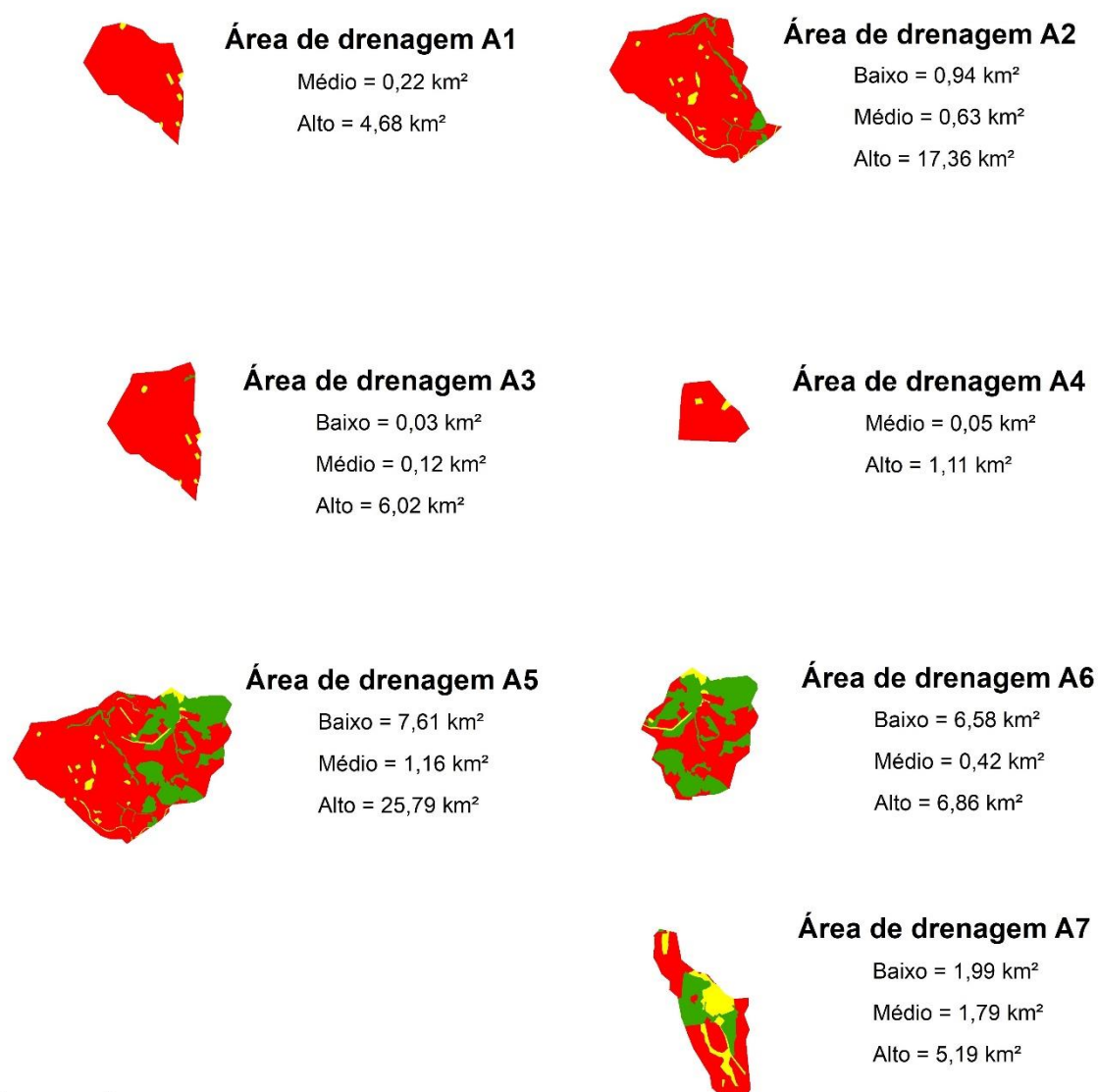
Figura 32. Grau de impermeabilização do solo para cada área de drenagem dos pontos de inundação da microbacia do córrego Piçarrão.



Fonte: Sistema Ambiental Paulista - DataGEO  
Mapa de uso e cobertura da terra da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ)  
Data da publicação: 2007 a 2009 ; Edição: 2013  
Autor: Natália Esteves Carvalho  
Orientador: Sueli do Carmo Bettine

Elaborado pela autora.

Figura 33. Grau de impermeabilização do solo para cada área de drenagem dos pontos de inundação da bacia do córrego Ribeirão Anhumas.



## Legenda

### Grau de impermeabilização



Fonte: Sistema Ambiental Paulista - DataGEO  
 Mapa de uso e cobertura da terra da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ)  
 Data da publicação: 2007 a 2009 ; Edição: 2013  
 Autor: Natália Esteves Carvalho  
 Orientador: Sueli do Carmo Bettine

Elaborado pela autora.

## 6.5. CÁLCULO DAS VAZÕES DE PICO

Para o cálculo das vazões de pico foram aplicados os métodos Racional e de I-Pai-Wu. O método Racional, por conceito, é utilizado para bacias pequenas, iguais ou menores que 2 km<sup>2</sup>. No caso dessa pesquisa apenas um dos pontos críticos de inundação está localizado em uma área de drenagem inferior a 2 km<sup>2</sup>. Este é o ponto A4 localizado na bacia do córrego Ribeirão Anhumas, com área de 1,16 km<sup>2</sup>. Para todos os outros pontos de inundação das duas áreas objeto de estudo, será utilizado o método de I-Pai-Wu, aplicado para áreas superiores a 2 km<sup>2</sup>.

Para calcular a intensidade da chuva crítica foi considerado para todos os pontos de inundação o período de recorrência (T) de 100 anos. A Tabela 11 apresenta o tempo de concentração (tc) e a intensidade (i) da chuva crítica para T = 100 anos, calculados em cada ponto crítico de inundação.

Tabela 11. Tempo de concentração (tc) e intensidade de cada área de drenagem da microbacia do Córrego Piçarrão e bacia do Córrego Ribeirão das Anhumas.

	Área total km <sup>2</sup>	Pontos de inundação	A km <sup>2</sup>	L km	H m	tc	i
						min	mm/h
Microbacia do Córrego Piçarrão	65,06	A1	61,03	22,36	180	279,45	25,13
		A2	42,11	19,62	150	257,66	26,94
		A3	19,50	10,77	120	140,44	44,57
Bacia do Córrego Anhumas	145,08	A1	4,80	1,23	30	19,58	161,16
		A2	18,93	11,87	60	205,26	32,64
		A3	6,17	2,90	30	52,53	92,40
		A4	1,16	0,40	30	5,42	242,02
		A5	34,56	14,19	90	215,82	31,30
		A6	13,86	6,01	60	93,55	61,23
		A7	8,97	7,34	90	100,82	57,83

Elaborado pela autora.

A partir desses resultados, foi calculada a vazão máxima ( $Q_{\text{máx.}}$ ) para cada ponto crítico de inundação, de acordo com a atual ocupação do solo das áreas objeto de estudo. Neste cálculo, as variáveis consideradas, tanto para o método racional aplicado na área de drenagem A4, quanto para o método de I-Pai-Wu calculado para as outras áreas, foram estabelecidas da seguinte forma:

Para o método racional

1) Variável C = foi considerado o valor médio calculado conforme as características do grau de uso e ocupação da área de drenagem, ou seja, a somatória de cada parcela em km<sup>2</sup> classificada como grau alto, médio ou baixo, multiplicada pelo valor de C respectivo, conforme a Tabela 10.

Para o método de I-Pai-Wu

1) Variável C<sub>1</sub> = calculado pela fórmula (6). Para isso, como no método racional, calculou-se primeiro o valor de C<sub>2</sub>, que aplicado a fórmula (6), resultou no valor de C<sub>1</sub>;

2) Variável K<sub>d</sub> = obtido pela relação de cada área de drenagem com as diferentes curvas de tempo de duração da chuva (Figura 21), pelos valores encontrados do tempo de concentração (t<sub>c</sub>).

A Tabela 12 mostra os valores de C para cada parcela das áreas de drenagem e foi elaborada para auxiliar nos cálculos da vazão máxima de pico.

Tabela 12. Coeficiente de escoamento superficial (C) calculado para cada parcela das áreas de drenagem.

	Pontos de inundação	A km <sup>2</sup>	Grau de Impermeabilização												$\bar{C}$
			km <sup>2</sup>			%			C			C x percentual da área (%)			
			Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Microbacia do Córrego Piçarrão	A1	61,03	32,28	2,50	26,25	53%	4%	43%	0,8	0,5	0,3	0,42	0,02	0,13	<b>0,57</b>
	A2	42,11	24,26	2,34	15,51	58%	6%	37%	0,8	0,5	0,3	0,46	0,03	0,11	<b>0,60</b>
	A3	19,50	18,05	0,94	0,51	93%	5%	3%	0,8	0,5	0,3	0,74	0,02	0,01	<b>0,77</b>
Bacia do Córrego Anhumas	A1	4,80	4,68	0,22	0	98%	5%	0%	0,8	0,5	0,3	0,78	0,02	0,00	<b>0,80</b>
	A2	18,93	17,36	0,63	0,94	92%	3%	5%	0,8	0,5	0,3	0,73	0,02	0,01	<b>0,77</b>
	A3	6,17	6,02	0,12	0,03	98%	2%	0%	0,8	0,5	0,3	0,78	0,01	0,00	<b>0,79</b>
	A4	1,16	1,11	0,05	0	96%	4%	0%	0,8	0,5	0,3	0,77	0,02	0,00	<b>0,79</b>
	A5	34,56	25,79	1,16	7,61	75%	3%	22%	0,8	0,5	0,3	0,60	0,02	0,07	<b>0,68</b>
	A6	13,86	6,86	0,42	6,58	49%	3%	47%	0,8	0,5	0,3	0,40	0,02	0,14	<b>0,55</b>
	A7	8,97	5,19	1,79	1,99	58%	20%	22%	0,8	0,5	0,3	0,46	0,10	0,07	<b>0,63</b>

Elaborado pela autora.

Com os valores dos coeficientes de impermeabilização (C) obtidos, o próximo passo, antes de calcular as vazões máximas, é determinar os valores de cada coeficiente de distribuição espacial da chuva (K) respectivos. Para isso, foi necessário interpolar os valores encontrados do tempo de concentração (t<sub>c</sub>), em

horas, para cada valor de  $K_d$ , de acordo com o gráfico da Figura 21. Feito isso, tem-se os valores de  $K_d$  para cada tempo de concentração ( $t_c$ ) de cada área de drenagem e o resultado está apresentado na Tabela 13 a seguir:

Tabela 13. Valores de  $K_d$  para cada tempo de concentração ( $t_c$ ) de cada área de drenagem.

	Pontos de inundação	Gráfico coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)					
		Por interpolação: $K_d = K_{d0} + (K_{d1} - K_{d0}) * (t_c - t_{c0} / t_{c1} - t_{c0})$					
		$t_c$ (h)	$K_d$ (%)	$t_{c0}$ (h)	$K_{d0}$ (%)	$t_{c1}$ (h)	$K_{d1}$ (%)
Microbacia do Córrego do Piçarrão	A1	4,66	<b>95,10</b>	3,00	94,00	6,00	96,00
	A2	4,29	<b>96,43</b>	3,00	96,00	6,00	97,00
	A3	2,34	<b>97,34</b>	1,00	96,00	3,00	98,00
Bacia do Córrego Anhumas	A1	0,33	<b>99,00</b>	0,30	99,00	1,00	99,00
	A2	3,42	<b>98,14</b>	3,00	98,00	6,00	99,00
	A3	0,88	<b>98,82</b>	0,30	98,00	1,00	99,00
	A5	3,60	<b>97,20</b>	3,00	97,00	6,00	98,00
	A6	1,56	<b>98,28</b>	1,00	98,00	3,00	99,00
	A7	1,68	<b>99,00</b>	1,00	99,00	3,00	99,00

Elaborado pela autora.

Em seguida, com os valores de todas as variáveis, calculou-se a vazão máxima de pico ( $Q_{m\acute{a}x.}$ ) para cada ponto crítico de inundação. No caso da área de drenagem A4, da bacia do córrego do Riberão Anhumas, utilizou-se o método racional e nas demais áreas, tanto dessa bacia quanto da microbacia do córrego do Piçarrão, as vazões máximas foram calculadas pelo método de I-Pai-Wu. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14. Vazões máximas ( $m^3/s$ ) de cada área de drenagem, de acordo com os pontos críticos de inundação.

	Pontos de inundação	A km <sup>2</sup>	L km	H m	$t_c$ min	i mm/h	MÉTODO						
							RACIONAL		I PAI WU				
							C	$Q_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s	F	$K_d$	C2	C1	$Q_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s
Microbacia do Córrego do Piçarrão	A1	61,03	22,36	180	279,45	25,13			2,48	0,95	0,57	0,37	<b>99,81</b>
	A2	42,11	19,62	150	257,66	26,94			2,62	0,96	0,60	0,38	<b>80,57</b>
	A3	19,50	10,77	120	140,44	44,57			2,11	0,97	0,77	0,51	<b>89,83</b>
Bacia do Córrego Anhumas	A1	4,80	1,23	30	19,58	161,16			0,49	0,99	0,80	0,67	<b>123,08</b>
	A2	18,93	11,87	60	205,26	32,64			2,36	0,98	0,77	0,50	<b>62,81</b>
	A3	6,17	2,90	30	52,53	92,40			1,01	0,99	0,79	0,59	<b>77,97</b>
	A4	1,16	0,40	30	5,42	242,02	0,79	<b>61,87</b>					
	A5	34,56	14,19	90	215,82	31,30			2,09	0,97	0,68	0,45	<b>92,93</b>
	A6	13,86	6,01	60	93,55	61,23			1,40	0,98	0,55	0,39	<b>70,41</b>
	A7	8,97	7,34	90	100,82	57,83			2,12	0,99	0,63	0,42	<b>47,96</b>

Elaborado pela autora.

## 6.6. APLICAÇÃO DO BAF

O BAF é um indicador usado no planejamento e desenvolvimento urbano que quantifica as áreas com “potencial ecológico” em relação à área total estudada, expressando um índice que varia de 0,0 a 1,0, onde 0,0 é um espaço com nenhuma função ecológica (como um estacionamento asfaltado) e 1,0 é uma área que apresenta 100% de função ecológica, como uma área de vegetação natural preservada. Com o ambiente urbano já estabelecido, aplicar o BAF na cidade requer um trabalho detalhado, com um levantamento dos diversos tipos de superfícies de cada lote.

Para que se tenha um parâmetro de como o BAF foi estabelecido como lei, apresentam-se algumas aplicações na Lei de ordenamento municipal da cidade de Berlim:

BAF = 0,60: é o mínimo a ser alcançado para as novas construções residenciais nos terrenos e lotes urbanos, construções públicas de cunho social ou cultural e creches;

BAF= 0,40: é o mínimo para áreas já existentes com função de recreação ou de escolas, pois é um tipo de uso que deve ter maior função ecológica por abrigar uma maior circulação de pessoas;

BAF= 0,30: é o mínimo estabelecido para áreas que possuem indústrias e comércio, ou áreas de maior adensamento que já existia antes da nova lei. Este mínimo que deve ser obtido através de medidas compensatórias promovendo áreas verdes em telhados e paredes.

O presente trabalho apresenta o estudo a partir das tipologias do zoneamento estabelecido pela Prefeitura de Campinas, utilizando as imagens de satélite do Google Earth<sup>®</sup> das duas áreas objeto de estudo que compreendem a microbacia hidrográfica do córrego Piçarrão e a bacia hidrográfica do córrego Ribeirão das Anhumas.

Ao longo do tempo, em quase toda a área selecionada, ocorreram modificações significativas, principalmente devido a construções em terrenos livres, diminuindo mais as manchas verdes existentes. De acordo com o Plano Diretor Estratégico de Campinas (2017), as áreas objeto de estudo dessa pesquisa apresentam diferentes padrões e graus de adensamento e intensa diversificação de usos e atividades.

Seus problemas ambientais são decorrentes do processo histórico de ocupação do meio físico e do modelo concentrador de atividades potencialmente geradoras de poluição atmosférica, hídrica e outras. São preocupantes o grau de alteração das condições naturais dos terrenos e a ocupação inadequada dos vales e planícies fluviais, a saturação da infraestrutura em alguns pontos, decorrentes do crescimento rápido e desordenado da urbanização, condicionando alguns dos problemas ambientais observados, tais como enchentes e a deterioração da qualidade das águas dos rios (Prefeitura Municipal de Campinas, 2006).

O tratamento dos problemas ambientais decorrentes da configuração urbana em questão requer a adequação de sua infraestrutura, assim como tratamentos específicos para recuperação de áreas degradadas, de forma a qualificar a paisagem urbana, notadamente no percurso da rede hídrica. O centro urbano consolidado apresenta grande diversidade de atividades e equipamentos urbanos, verificando-se no seu entorno alguns bairros predominantemente residenciais com forte tendência à localização de serviços e, pode-se perceber também que, a verticalização do uso habitacional é intensa e configura eixos bastante visíveis como na da região dos bairros Cambuí, Taquaral e Jardim Flamboyant.

#### **6.6.1. PADRÃO DE OCUPAÇÃO DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIÇARRÃO**

Na região da microbacia do córrego Piçarrão, a ocupação é predominantemente residencial, em unidades horizontais, registrando-se a ocorrência de conjuntos habitacionais verticais. Estão presentes algumas indústrias e estabelecimentos comerciais, porém com pouca diversidade. Ainda, destaca-se a presença do Hospital Celso Pierro da PUC - Campus II, importante equipamento médico-hospitalar. Pode-se dizer que a microbacia apresenta uma densidade de drenagem significativa, o que demanda um padrão de ocupação urbana planejado e controlado.

Tal área caracteriza-se como uma região de urbanização consolidada, é apresentada na Figura 34, com predominância de usos residenciais em relação aos usos comerciais e de serviços e industriais. Além disso, apresenta tecido urbano descontínuo, compreendendo bairros com densidade razoável, como os loteamentos do bairro Jardim Florence I, como também vazios urbanos e



loteamentos antigos não totalmente ocupados, como os do bairro Satélite Íris I. Alguns loteamentos são antigos e apresentam grande quantidade de lotes vagos e há predomínio de loteamentos de baixa renda, conjuntos habitacionais da COHAB, favelas e algumas invasões.

Figura 34. Padrão de ocupação da microbacia do córrego Piçarrão



Fonte: Imagens de Satélite Google Earth<sup>®</sup> - data 22/09/2019 (adaptado pela autora)

### **6.6.2. PADRÃO DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO RIBEIRÃO ANHUMAS**

A ocupação dos bairros na área da bacia do Ribeirão Anhumas é predominantemente residencial, apresentando ainda usos comerciais, industriais e depósitos. Os imóveis residenciais são predominantemente horizontais, mesclados por usos comerciais de âmbito local. Verifica-se a ocupação recente por empreendimentos habitacionais em forma de condomínios e loteamentos fechados. Pode-se dizer que é uma área com predominância de ocupação residencial consolidada de padrão médio e médio-alto (Figura 35), como também se identifica uma boa taxa de verticalização (Figura 36).



Figura 35. Padrão de ocupação da bacia do córrego Ribeirão Anhumas



Fonte: Imagens de Satélite Google Earth<sup>®</sup> - data 22/09/2019 (adaptado pela autora)

Figura 36. Verticalização da bacia do córrego Ribeirão Anhumas



Fonte: Imagens de Satélite Google Earth<sup>®</sup> - data 22/09/2019 (adaptado pela autora)

Nesse sentido, a região apresenta forte tendência a verticalização dada a sua proximidade ao Guanabara e ao Cambuí. Pode-se considerar que essas transformações sejam um extravasamento da ocupação da área central, com comércios, serviços e edificações verticais habitacionais já disseminados pelos bairros. Nesses bairros verifica-se grande quantidade de imóveis em unidades verticais, tanto para uso residencial quanto para outros usos.

Verifica-se um rápido crescimento da verticalização, o que é interessante é que esse processo tem predominância do uso residencial. Com base nas imagens

aéreas, pode-se dizer que, de uma forma geral, ainda há potencial para adensamento e verticalização. No entanto, é preciso adotar um processo permanente de monitoramento para garantir que essas transformações se deem de forma compatível com a capacidade da infraestrutura básica e, principalmente, do sistema viário da região.

### **6.7. PROPOSTAS DE BAF**

Os problemas encontrados nas áreas de estudo podem ser considerados homogêneos, ou seja, observam-se parâmetros construtivos parecidos, que representam casas com pouca aplicação de áreas verdes e alta taxa de ocupação construída, ocasionando a diminuição da taxa de infiltração das águas no solo e aumentando o escoamento superficial.

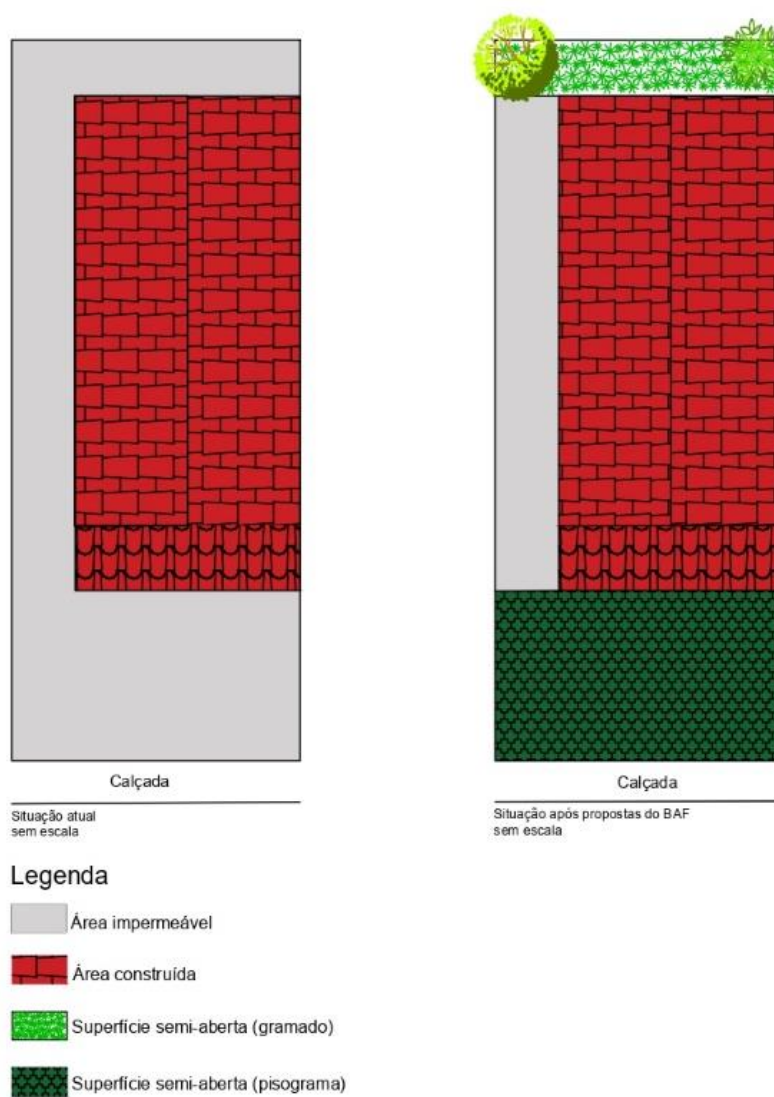
Como uma possibilidade interessante, seria avaliar a aplicação de uma variação de BAF, por exemplo, um incremento de áreas ecologicamente eficientes a partir de intervenções do tipo uso de jardins e pavimentação semipermeável para áreas totalmente impermeáveis onde possa ocorrer o crescimento de plantas, estabelecendo-se melhorias na condição de vida da população que ali reside (Figuras 37, 38, 39 e 40).

Outra sugestão seria a construção de um pequeno canteiro com plantação de árvores de pequeno porte, de preferência frutífera ou que dê flores, para atrair pássaros e insetos, além de auxiliar na absorção da água da chuva, por exemplo. No caso dos loteamentos e condomínios, uma boa opção seria colocar grama na área destinada às quadras, piscinas e outras área de lazer, além do uso de pavimentos permeável em toda extensão dos estacionamentos.

Figura 37. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial exemplo 1, localizado na área da bacia do Ribeirão Anhumas.

Croqui:

### Uso Residencial - Exemplo 1



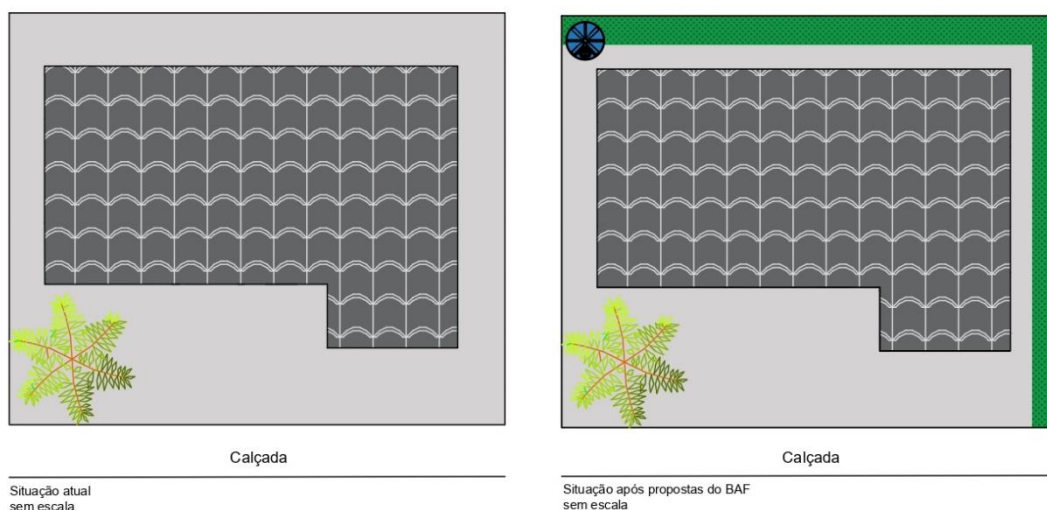
Elaborado pela autora.







Figura 38. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial exemplo 2, localizado na área da microbacia do Piçarrão.

Croqui:

## Uso Residencial - Exemplo 2



### Legenda

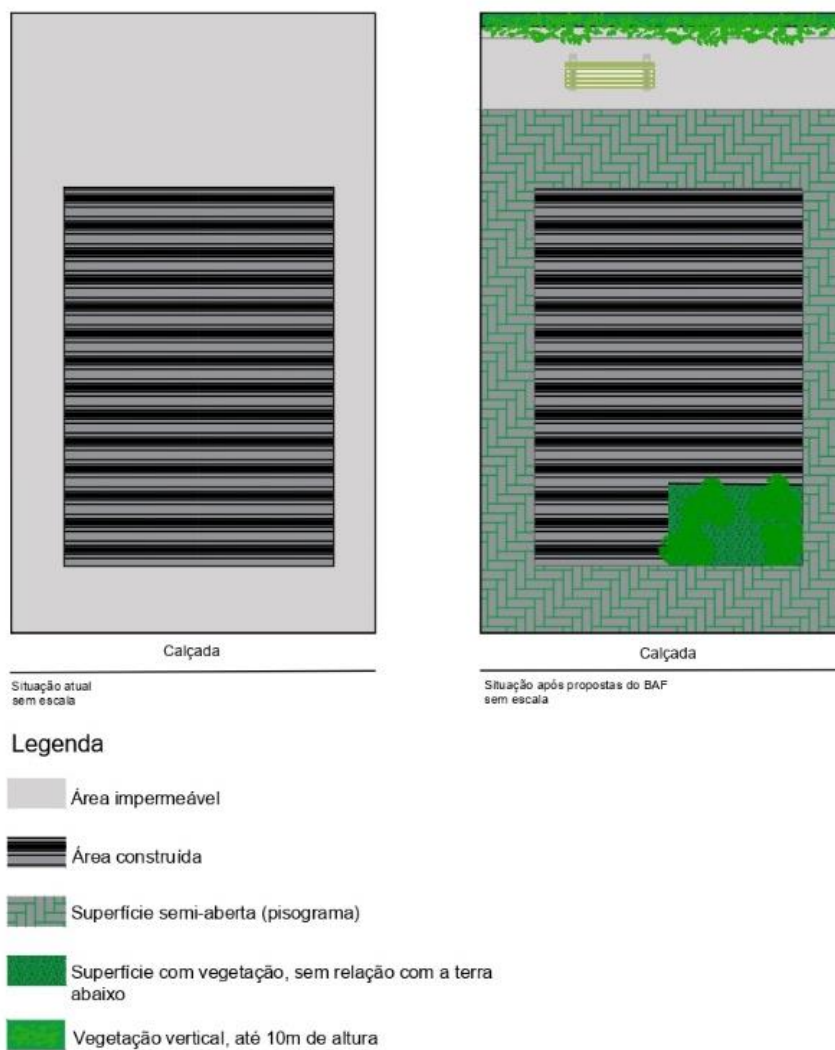
-  Área impermeável
-  Área construída
-  Superfície semi-aberta (gramado)
-  Reservatório (água de chuva para reuso)

Elaborado pela autora.

Figura 39. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso comercial, padrão nas duas áreas objeto de estudo.

Croqui:

### Uso Comercial - Galpão

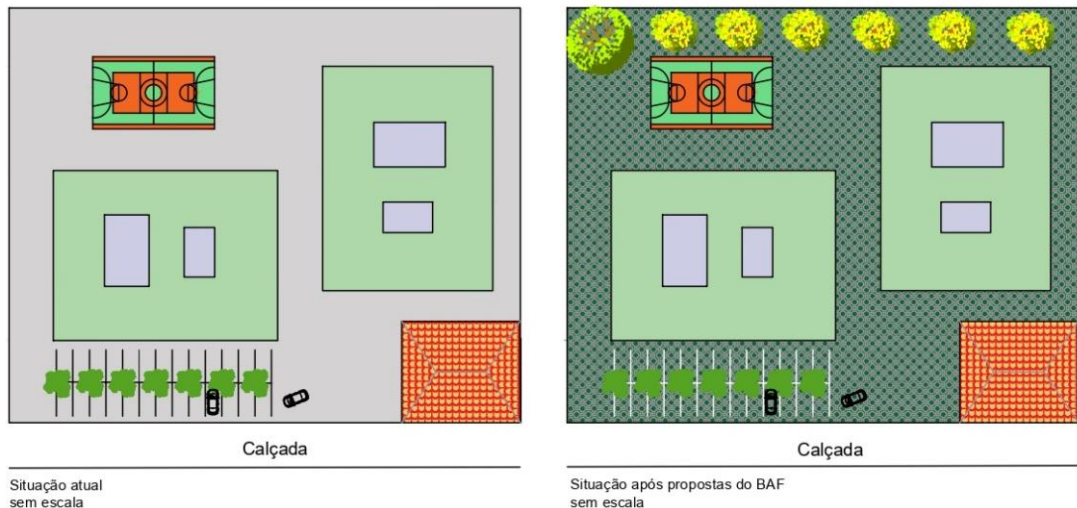


Elaborado pela autora.

Figura 40. Croqui comparativo (situação atual X situação após BAF), para uso residencial, padrão de edifícios nas duas áreas objeto de estudo.

Croqui:

## Uso Residencial - Edifício



### Legenda

- Área impermeável
- Área construída
- Área construída
- Superfície semi-aberta (pisograma)
- Superfície com vegetação, ligada com o solo abaixo

Elaborado pela autora.

Dessa forma, identificados os tipos de lotes existentes, conforme os critérios básicos do método Fator de Biótopo de Área (BAF), para as propostas de cálculo da cobertura das superfícies das áreas objeto de estudo, onde encontram-se, de modo geral, visualmente duas tipologias: área impermeável e pouca mancha verde, pode-se considerar o BAF como ideal, para áreas ecologicamente ativas, de 0,45. Isto porque a maioria dos lotes estão localizados em áreas de alto grau de impermeabilização e, com isso, adotando-se um BAF médio de 0,45, independentemente do tipo de infraestrutura, significa dizer que o grau máximo de

impermeabilização que se pode ter nas áreas objeto de estudo para atender o valor médio de BAF, seria de 0,55.

Para a realidade brasileira, em relação aos lotes é possível sugerir a aplicação de dois tipos de pavimentos cabíveis e que possam atender ao método, de modo a atingir o BAF alvo estabelecido: pavimento semipermeável ou pavimento semipermeável com grama, além de sugestões como plantio de árvores nos lotes. Através da análise das imagens do Google Earth®, é possível perceber que praticamente todos os terrenos encontram-se ocupados pela construção, estando somente a frente livre, que é usada para garagem. Sendo assim, a substituição da cobertura da superfície de concreto (índice =0,0) por uma superfície com grama (índice =1,0), funcionará como uma medida compensatória permitindo que o índice BAF seja alcançado, conforme o desejável.

Pela camada de área edificada, tem-se que a maioria dos lotes estão localizados em áreas de alto grau de impermeabilização e, como visto, adotou-se um BAF médio de 0,45, cujo grau máximo de impermeabilização que se pode ter nas áreas objeto de estudo, seria de 0,55. Isto acontece apenas na área de drenagem A6 da bacia do córrego Anhumas, portanto, adotando-se o valor de  $C = 0,55$ , toda a parcela de grau alto de cada área de drenagem passará para a classificação de grau médio. A parcela classificada por grau médio (0,5), permanece na mesma classificação, já que atendem ao BAF indicado. Da mesma forma, permanecem também na mesma classificação as áreas classificadas como de grau baixo.

Tal análise é demonstrada na Tabela 15, que apresenta os resultados obtidos da alteração dos coeficientes de impermeabilização do solo para cada área de drenagem.



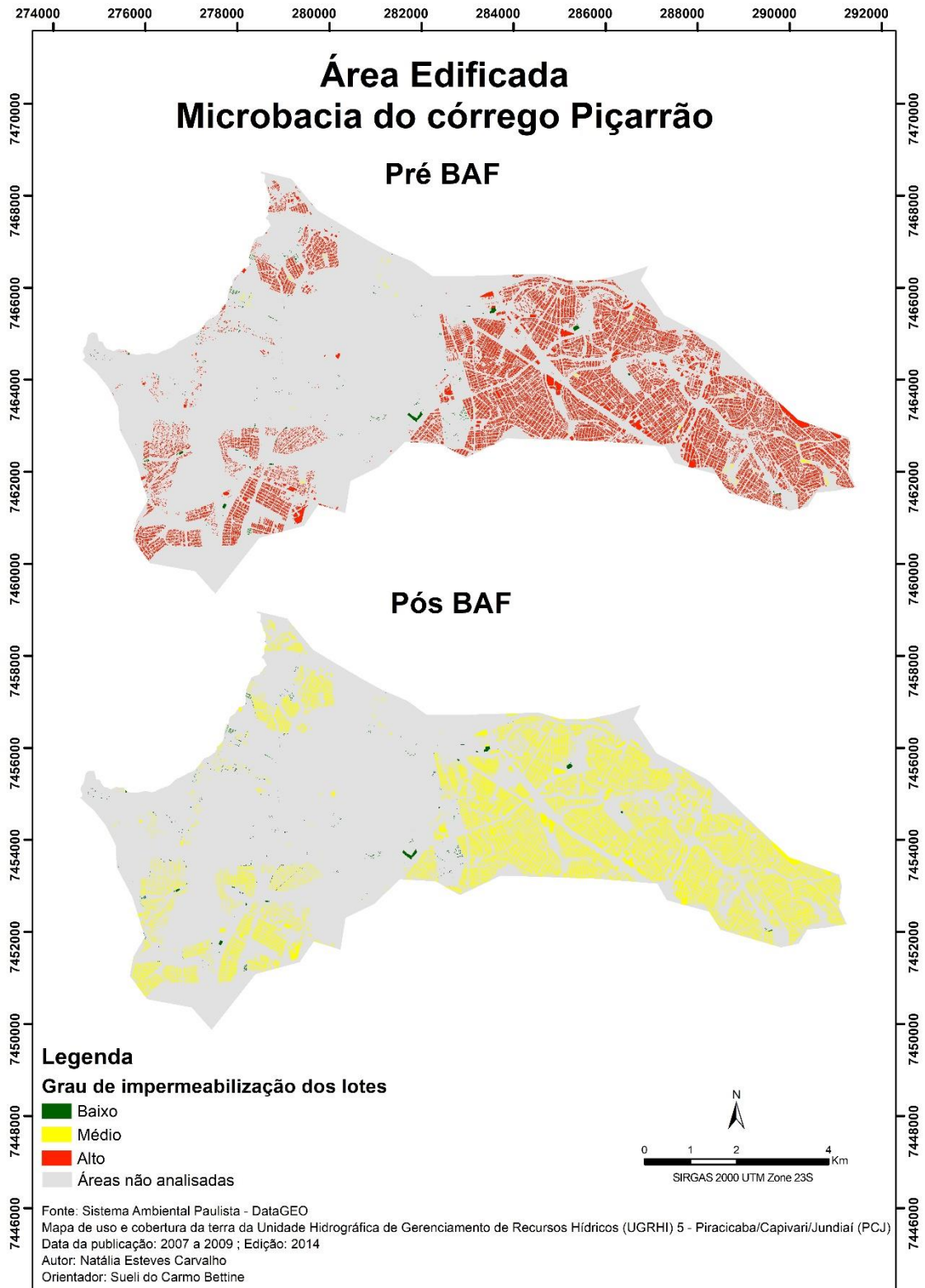
Tabela 15. Coeficiente de escoamento superficial estipulado pós BAF ( $C_{BAF}$ ), calculado para cada parcela das áreas de drenagem

	Pontos de inundação	A km <sup>2</sup>	Grau de Impermeabilização												$\bar{C}$ pós BAF
			km <sup>2</sup>			%			$C_{BAF}$			$C_{BAF}$ x percentual da área (%)			
			Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	
Microbacia do Córrego Piçarrão	A1	61,03	32,28	2,50	26,25	53%	4%	43%	0,55	0,5	0,3	0,29	0,02	0,13	<b>0,44</b>
	A2	42,11	24,26	2,34	15,51	58%	6%	37%	0,55	0,5	0,3	0,32	0,03	0,11	<b>0,46</b>
	A3	19,50	18,05	0,94	0,51	93%	5%	3%	0,55	0,5	0,3	0,51	0,02	0,01	<b>0,54</b>
Bacia do Córrego Anhumas	A1	4,80	4,68	0,22	0	98%	5%	0%	0,55	0,5	0,3	0,54	0,02	0,00	<b>0,56</b>
	A2	18,93	17,36	0,63	0,94	92%	3%	5%	0,55	0,5	0,3	0,50	0,02	0,01	<b>0,54</b>
	A3	6,17	6,02	0,12	0,03	98%	2%	0%	0,55	0,5	0,3	0,54	0,01	0,00	<b>0,55</b>
	A4	1,16	1,11	0,05	0	96%	4%	0%	0,55	0,5	0,3	0,53	0,02	0,00	<b>0,55</b>
	A5	34,56	25,79	1,16	7,61	75%	3%	22%	0,55	0,5	0,3	0,41	0,02	0,07	<b>0,49</b>
	A6	13,86	6,86	0,42	6,58	49%	3%	47%	0,55	0,5	0,3	0,27	0,02	0,14	<b>0,43</b>
	A7	8,97	5,19	1,79	1,99	58%	20%	22%	0,55	0,5	0,3	0,32	0,10	0,07	<b>0,48</b>

Elaborado pela autora.

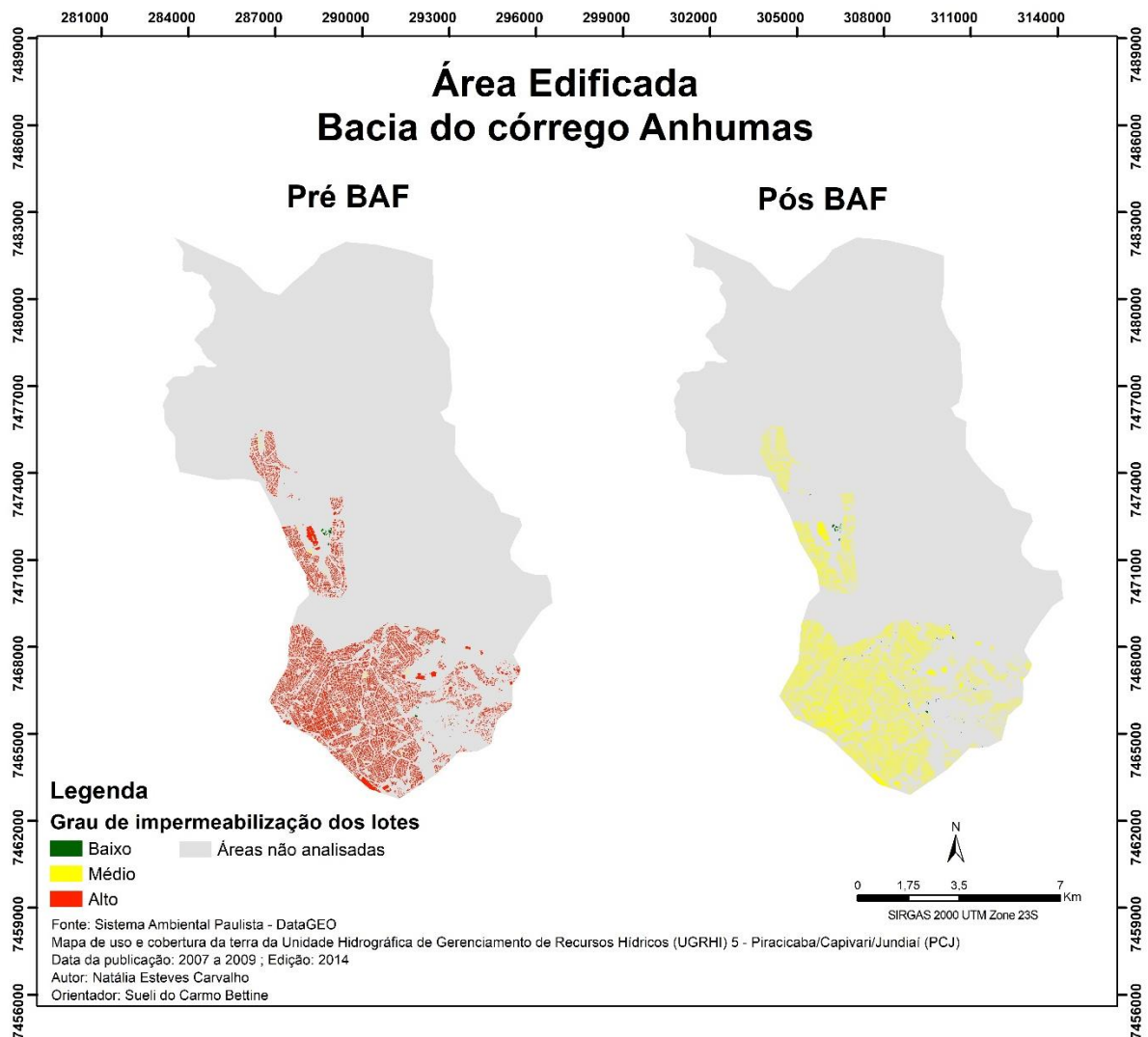
As Figuras 41 e 42 representam tais resultados, onde toda parcela de área edificada anteriormente classificada como alto grau de impermeabilização, após as propostas de BAF, classificam-se como áreas de médio grau de impermeabilização. Isso ocorre, pois, implementadas as técnicas LID pelas propostas de BAF, as águas do escoamento superficial nos lotes se acumularão gradualmente no solo, contribuindo com a redução das enchentes nas bacias e, conseqüentemente, melhorando a qualidade das águas.

Figura 41. Grau de impermeabilização dos lotes das áreas de drenagem da microbacia do córrego Piçarrão antes e depois das propostas de BAF.



Elaborado pela autora.

Figura 42. Grau de impermeabilização dos lotes das áreas de drenagem da bacia do córrego Anhumas antes e depois das propostas de BAF.



Elaborado pela autora.

Os resultados deste trabalho indicam que a implantação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) adaptadas para o método BAF, a exemplo dos pavimentos permeáveis nas edificações, pode apontar para reduções consideráveis do volume de escoamento superficial. Tal constatação é apresentada na Tabela 16 que aponta as novas vazões máximas encontradas para cada ponto de drenagem, adotando-se o grau máximo de impermeabilização de 0,55, como mencionado.

Tabela 16. Vazões máximas  $Q'_{m\acute{a}x}$ . ( $m^3/s$ ) de cada área de drenagem, após as propostas de BAF para cada ponto crítico de inundação.

	Pontos de inundação	A km <sup>2</sup>	L km	H m	tc min	i mm/h	MÉTODO						
							RACIONAL		I PAI WU			$Q'_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s	
							C	$Q'_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s	F	Kd	C2		C1
Microbacia do Córrego Piçarrão	A1	61,03	22,36	180	279,45	25,13			2,48	0,95	0,44	0,28	<b>76,69</b>
	A2	42,11	19,62	150	257,66	26,94			2,62	0,96	0,46	0,29	<b>61,86</b>
	A3	19,50	10,77	120	140,44	44,57			2,11	0,97	0,54	0,36	<b>62,80</b>
Bacia do Córrego Anhumas	A1	4,80	1,23	30	19,58	161,16			0,49	0,99	0,56	0,47	<b>85,84</b>
	A2	18,93	11,87	60	205,26	32,64			2,36	0,98	0,54	0,35	<b>44,32</b>
	A3	6,17	2,90	30	52,53	92,40			1,01	0,99	0,55	0,41	<b>54,16</b>
	A4	1,16	0,40	30	5,42	242,02	0,55	<b>43,23</b>					
	A5	34,56	14,19	90	215,82	31,30			2,09	0,97	0,49	0,32	<b>66,98</b>
	A6	13,86	6,01	60	93,55	61,23			1,40	0,98	0,43	0,30	<b>54,69</b>
	A7	8,97	7,34	90	100,82	57,83			2,12	0,99	0,48	0,32	<b>36,59</b>

Elaborado pela autora.

No quadro atual de intensificação dos processos de urbanização, há vários casos de inserção de técnicas compensatórias em áreas já construídas. No caso desta pesquisa, comparando os valores de vazões obtidas com a aplicação do propostas de BAF com as vazões apresentadas na Tabela 14, houve uma redução percentual das mesmas conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Percentual de abatimento das vazões  $Q_{m\acute{a}x}$ . e  $Q'_{m\acute{a}x}$ . ( $m^3/s$ ) de cada área de drenagem

	Pontos de inundação	Diferença de vazões		
		$Q_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s	$Q'_{m\acute{a}x}$ m <sup>3</sup> /s	Abatimento %
Microbacia do Córrego Piçarrão	A1	99,81	76,69	<b>30,1</b>
	A2	80,57	61,86	<b>30,2</b>
	A3	89,83	62,80	<b>43,0</b>
Bacia do Córrego Anhumas	A1	123,08	85,84	<b>43,4</b>
	A2	62,81	44,32	<b>41,7</b>
	A3	77,97	54,16	<b>44,0</b>
	A4	61,87	43,23	<b>43,1</b>
	A5	92,93	66,98	<b>38,7</b>
	A6	70,41	54,69	<b>28,7</b>
	A7	47,96	36,59	<b>31,1</b>

Elaborado pela autora.

Tais reduções demonstram a importância de se utilizar técnicas compensatórias como auxílio ao manejo sustentável das águas pluviais. E, ainda, mostram que as técnicas podem trabalhar em conjunto para uma diminuição do escoamento superficial.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A ocupação das áreas de risco de enchentes e o aumento dos coeficientes de deflúvio nas bacias urbanas, como resultado da ocupação desordenada, potencializam os problemas drenagem e para que sejam solucionados deve-se considerar as peculiaridades locais, suas potencialidades e limitações.

Os sistemas tradicionais de drenagem são pouco flexíveis e adaptáveis a mudanças de uso do solo, requerendo grandes investimentos do setor público em reconstrução, em particular quando se trata de novas intervenções em espaços já construídos. E, na maioria dos casos, após a ocorrência de eventos graves de inundação e enchentes, a tendência é buscar por soluções localizadas e parciais, adotadas a partir de estudos de diagnóstico e de alternativas.

Existe uma grande diversidade de técnicas compensatórias no manejo de águas pluviais urbanas. A escolha dos tipos de técnicas a serem adotadas depende de fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais. A situação ideal para o emprego desse tipo de solução ocorre quando os estudos conduzindo à escolha das técnicas mais convenientes são feitos ao mesmo tempo em que se desenvolve um projeto de uma nova área de desenvolvimento, o que permite a escolha e a adaptação das técnicas compensatórias ao projeto urbanístico.

Quando proposta a aplicação das técnicas de desenvolvimento de baixo impacto pelo método BAF, sabe-se que tais propostas apresentam vantagens e desvantagens, de modo que é necessário avaliar caso a caso quando da elaboração do projeto de implantação. Faz-se importante ressaltar que os parâmetros adotados nesta pesquisa são empíricos, resultantes da literatura disponível, visitas a campo e imagens de satélite, de modo que é desejável que sejam validados de acordo com as condições locais quando implementado o projeto.

Em alguns casos, é correto afirmar a maior eficiência e viabilidade de adoção das estruturas para as chuvas de menores volumes precipitados (menores durações), por exemplo os pavimentos permeáveis ou jardins de chuva, os quais os investimentos do proprietário não seriam muito elevados e a problemática da drenagem local seria amenizada. Além dos benefícios hidráulicos da adoção das técnicas compensatórias nos lotes, vale destacar outra função importante: a educacional, pois influencia diretamente na conscientização da população com

relação às responsabilidades pelos impactos hidrológicos resultantes da ocupação do solo.

Para as chuvas mais longas (de maior volume), fica a sugestão de uma proposta de atuação conjunta dos poderes público e privado, de modo a não onerar demasiadamente o proprietário do lote e, ao mesmo tempo, controlar os impactos hidrológicos do crescimento urbano. Nessa perspectiva, além do tema especificamente tratado nessa pesquisa, a contenção em lotes, as áreas públicas, como parques e praças, poderiam ser utilizadas como áreas objeto de estudo para a aplicação do método BAF, além de proporcionar como resultados paisagens multifuncionais.

É característico dos trabalhos e pesquisas a respeito de qualquer assunto deparar-se com dificuldades que exigem inovações para serem superadas. O desafio de encontrar respostas para as perguntas move o pesquisador e, no caso desta pesquisa, o esforço exigido passa primeiro pela busca por dados disponíveis, por utilizar um material de análise (as fotos aéreas e imagens de satélite) e, principalmente, pela adaptação de um método estrangeiro, de um lugar tão diferente de onde está sendo adaptado.

Tal pesquisa não deve ser considerada como um trabalho final do assunto abordado, mas antes como um trabalho inicial que visa contribuir com o desenvolvimento das pesquisas de indicadores de sustentabilidade, que possam ser utilizados eficientemente para a realidade brasileira. O trabalho apresentado propôs a aplicação do método alemão BAF (*Biotope Area Factor*) adaptado como uma ferramenta para o planejamento de práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), para as duas bacias hidrográficas críticas para contribuir e diminuir os impactos de enchentes no município de Campinas.

Foi possível avaliar a aplicabilidade de tal proposta metodológica, considerando-se possíveis intervenções para políticas públicas, como apresentado nos croquis elaborados, que representou a aplicação do BAF nos lotes, que como resultado dessa pesquisa revelou que o planejamento urbano utilizando-se de técnicas de baixo impacto é possível, apresentando vantagens urbanísticas, ambientais e hidrológicas sob os sistemas de desenvolvimento convencionais, tais como aumento das áreas permeáveis e das áreas de cobertura vegetal. Com isso,

tem-se a redução da vazão de pico e do volume de escoamento superficial das áreas objeto de estudo.

O método BAF adaptado como desenvolvimento de baixo impacto pode promover intervenções para restabelecer condições pré-existentes, e só então, empregar práticas de gerenciamento integrado. Além disso, seria interessante que a prefeitura utilizasse o BAF como instrumento de planejamento, por exemplo, através de incentivo público à diminuição do valor do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para os lotes que tenham o BAF adequado ao tipo de infraestrutura e, ainda, a utilização de políticas ambientais de planejamento mais específicas para áreas metropolitanas.

A grande vantagem das técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto está na possibilidade de gerenciar as águas urbanas de forma integrada às atividades locais, com mínimo dano ambiental e à saúde da população, além de ser financeiramente mais acessíveis e de mais fácil conscientização popular pela simplicidade e proximidade às atividades rotineiras da população.

Assim, é possível orientar, para um caso real, as melhores técnicas e dimensões a serem adotadas para um terreno com determinadas características e situado em uma dada bacia hidrográfica. Essas informações também podem ser úteis para fundamentar a proposição de políticas públicas de drenagem urbana sustentável. Por este estudo, foi possível demonstrar uma das soluções para um dos grandes problemas atuais das regiões metropolitanas, as enchentes, e desta forma contribuir para uma melhor qualidade de vida para a população.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - Programa Soluções para Cidades. Iniciativas Inspiradoras -**Controle de Inundações - Programa Ruas Verdes de Portland -EUA**. [S.l., s.n.] 2013.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - Programa Soluções para Cidades. Iniciativas Inspiradoras - **Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção**. [S.l., s.n.], 2013.

BAHIENSE, J. M. **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática**. 2013. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p. (Epagri, Boletim Técnico, 123).

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado Verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Curitiba, 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRAGA, B. D. F. Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical. In: Seminário de hidráulica computacional aplicada a problemas de drenagem urbana, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1994.

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP**. 2015. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

BETTINE, S. DO C. *et al.* Áreas ecologicamente estáveis como instrumento de planejamento ambiental. **Interciência**, Caracas, v.37, n.10, p.769–774, out. 2012.

BERLIN. **Innovative Water Concepts Service Water Utilization in Buildings. Berlin Senate Department for Urban Development**, Berlin, 2007. 31 p.  
<[https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/modellvorhaben/betriebswasser\\_englisch2007.pdf](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/modellvorhaben/betriebswasser_englisch2007.pdf)>

BEVILACQUA, A. F. **A bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento: limites e perspectivas**. 2011. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2011.

BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p.77-105.

BISPO, T. C.; LEVINO, N. de A. Impactos Ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011, Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte: Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial, out. 2011.

BLANES, L. **A aplicação do indicador de sustentabilidade BAF no mapeamento de geótopos urbanos: um experimento para a Bacia Hidrográfica do Córrego Água Espriada – São Paulo-SP**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BLOOMBERG, M. R. **NYC Green Infrastructure Plan**. Environmental Protection, 2011 update. Disponível em:  
<[http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green\\_infrastructure/gi\\_annual\\_report\\_2012.pdf](http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2012.pdf)>  
> Acesso em 20 mar. 2019.

BRASIL. Embrapa Monitoramento por Satélite. **Brasil em Relevo**. Disponível em:  
<<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>> Acesso em 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2015. 190 p.– Brasília: MCIDADES. SNSA, 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistemática 2012**. Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais. Programa - 2040: Gestão de riscos e resposta a desastres. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2012. Disponível em:  
<[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/Manual\\_de\\_Drenagem\\_2012.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Manual_de_Drenagem_2012.pdf)>. Acesso em 24 mar. 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2. Ed. São José dos Campos: INPE, 2001.

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

CARVALHO, J. C. F.; SANTOS, V. P. DOS; SCHUELER, A. S. DE. Proposta para redução do escoamento superficial das águas pluviais em Seropédica-RJ. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 19, p. 98–110, 2015

CASTRO, A. L. C de. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 2ª Edição, 1998.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação geotécnica de poços de infiltração de águas pluviais**. 2013. 284 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013

CEREDA JUNIOR, A. **Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério - críticas e proposta metodológica**. 2011. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

CORMIER, N. S; PELLEGRINO, P. R. M. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem Ambiente: ensaios**, n. 25, São Paulo, p. 125-142. São Paulo: FAUUSP, 2008.

COSTA, C. W. U. *et al.* **Desenvolvimento de Metodologia para Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais, estudo de caso para o município no sul de Minas Gerais** - Brasil. In: 8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2018). **Anais...** Coimbra – Portugal, 24, 25 e 26 de outubro de 2018.

COSTA, H. B.; ROSSI, M.; COELHO, R. M. Mapa de impermeabilização do solo da bacia do Ribeirão das Anhumas, Campinas-SP. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. p. 876-895.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do estado de São Paulo**, 1994. 64 p. DAEE, São Paulo.

EDUARDO, J. *et al.* Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.28, n.2, p. 257–272, mai.- ago. 2016.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D.; CEMIN, G. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 270 p.

GORSKI, M. C. B. **Rios e cidades: ruptura e reconciliação**. São Paulo: Senac, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JACOMAZZI, M. A. **Avaliação de cenários para a elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana. Estudo de caso: bacia do Ribeirão das Anhumas em Campinas-SP**. 2015. [s.n.]. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2015.

KAŹMIERCZAK, A.; CARTER, J. Berlin : The Biotope Area Factor. **Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies**, p. 1–9, 2010. Disponível em: <[http://www.mcrit.com/ADJUNTOS/ciutats\\_sostenibles/berlin2.pdf](http://www.mcrit.com/ADJUNTOS/ciutats_sostenibles/berlin2.pdf)>. Acesso em 10 de abril de 2018.

LI, J. Q.; ZHAO, W. W. Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden: Beijing case study. In: International Low Impact Development Conference, Seattle, 2008. **Proceedings...**Seattle, 2008.

LIU, Y. *et al.* Enhancing a rainfall-runoff model to assess the impacts of BMPs and LID practices on storm runoff. **Journal of Environmental Management**, v.147, p. 12–23, 2015.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento intertravado permeável - melhores práticas**. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, 2011. 24 p.

MARQUES M. L.; SILVA, M. C. ; CAMARGO, D. M. Análise Espacial da Vulnerabilidade Socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 69/9, p. 1711-1723, nov.-dez. 2017.

MARTINS, J. R. Obras de Macrodrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p.167-240.

MARTINS, P. A. G. **Manejo de águas pluviais urbanas: estudo de bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, PUC- Campinas, 2006.

MELO, T. dos A. T. de *et al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C . Revisitando o conceito de saneamento básico no Brasil e em Portugal. **Politécnica**, Salvador, v. 20-E, p. 5–11, 2014.

MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; LUCHIARI, A. O Geoprocessamento como Subsídio ao Estudo da Fragilidade Ambiental. In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2003. **Anais...**p. 709-719, 2003.

MOREIRA, D. L. **Aplicabilidade de técnicas de drenagem de baixo impacto no campus da universidade federal de santa maria**. 2016. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (curso de Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

MOURA, T. A. M. **Estudo Experimental de Superfícies Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia

Civil e Ambiental, Universidade de Brasília/DF, 2005.

NOVOTNY, V.; AHERN, J.; BROWN, P. **Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2010. Disponível em: <[http://edifinca.com/wp-content/archsc/ceneval/plataforma%20ceneval/desarrollo%20sustentable/bibliografia/PC\\_SUS\\_BIB\\_03.pdf](http://edifinca.com/wp-content/archsc/ceneval/plataforma%20ceneval/desarrollo%20sustentable/bibliografia/PC_SUS_BIB_03.pdf)> Acesso em 25 jul. 2018.

NUNES, D. M. *et al.* Aplicação de técnicas compensatórias no controle dos escoamentos superficiais: estudo de caso em loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro. **Revista Internacional de Ciências**, v. 07, n. 01, p. 3-21, jan-jun, 2017.

OBERNDORFER, E. *et al.* Green Roofs as UrbanEcosystems: EcologicalStructures, Functions, and Services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, [S.l.], 2007.

OHNUMA JUNIOR, A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. Tese (Doutorado). Programa de Pós- Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo. 2008.

OLIVEIRA, D. M. de. **Aplicação de modelagem numérica para simulação de cheias urbanas na bacia hidrográfica do rio Belém, município de Curitiba, PR**. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, 2017.

PHILLIPI JR.; A.; BRUNA, G.C.; SILVEIRA, V.F. **Planejamento territorial: instrumentos de intervenção**. IN: PHILLIPI JR., A. (ed.) Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri (SP): Manolo, 2005.

PINHEIRO, M. B. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies**. 2017. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PINTO, N. L. de S. *et al.* **Hidrologia Básica**. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976.

POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): uma contextualização histórica. **Revista Thema**, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2011

PÔMPEO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, Porto Alegre, RS, 2000.

PORTELA, M. M. A hydrologic-hydraulic method to define ecological flows downstream dams located in South European semi-arid regions. In: **5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development**, 2007, p. 329-334. Tenerife, Spain, December 14-16.

PORTELA, M. M. **Modelação Hidrológica**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. 4º ano Modelação Hidrológica. DECivil, SHRHA, 2º Semestre. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2006.

PORTO, R. L. *et al.* Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1993. p. 805-848.

PORTO, R. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p.107-165.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 dez. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Plano Diretor 2006. **Macrozona 4**. Disponível em: <[http://www.campinas.sp.gov.br/arquivos/seplama/macrozonas/MZ4\\_apresentacao\\_inicial\\_ABR-10.pdf](http://www.campinas.sp.gov.br/arquivos/seplama/macrozonas/MZ4_apresentacao_inicial_ABR-10.pdf)>. Acesso em 27 set. 2019

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Caderno de Subsídios versão final março/2017. **Plano Diretor Estratégico 2017**. Disponível em: <[https://planodiretor.campinas.sp.gov.br/sites/planodiretor.campinas.sp.gov.br/files/20170412\\_caderno\\_site.pdf](https://planodiretor.campinas.sp.gov.br/sites/planodiretor.campinas.sp.gov.br/files/20170412_caderno_site.pdf)>. Acesso em 07 mar. 2018

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. Secretaria Municipal do Verde e do Desenvolvimento Sustentável. Diagnóstico - Município de Campinas. **Plano Municipal de Saneamento Básico 2013**.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. Secretaria Municipal do Verde e do Desenvolvimento Sustentável. GeoAmbiental Informações Ambientais Especializadas. **Portal GeoAmbiental**. Disponível em: <<https://geoambiental.campinas.sp.gov.br/>>. Acesso em 2018 e 2019.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. Lowimpact development design strategies: an integrated design approach. **Low Impact Development Center**, Maryland, 1999.

REIS, P. A. DOS. **Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RICHARD, B. G. M. **The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter** Excerpt - **Landschaft Planen & Bauen - Principles for Its Determination and Identification of the Target**. Berlim, 1990. Disponível em: <[http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug\\_BF\\_F\\_Gutachten\\_1990\\_eng.pdf](http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BF_F_Gutachten_1990_eng.pdf)>. Acesso em 10 de abril de 2018.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos/USP, 2000. p. 191-214.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

ROSA, L. A. da S. **A Bacia Hidrográfica como Unidade Territorial de Gestão Ambiental no Programa de Revitalização do rio São Francisco**. 2011. 91 f. Monografia de Especialização. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model User's Manual: Version 5.1**. United States: Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division, 2015. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100N3J6.TXT>>. Acesso em 10 de abril de 2018.

SANTOS, A. S. S. **Diretrizes para implantação de sistemas de infraestrutura verde em meio urbano: estudo de caso da cidade de Ribeirão Preto – SP**. 2014. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SANTOS, C. DE A. **Impacto da utilização de pavimentação permeável em áreas urbanas na recuperação de bacias hidrográficas**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016.

SANTOS, R. F.; CARVALHAIS, H. B.; PIRES, F. Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. **Caderno de Informações Georreferenciadas**, v. 1, n. 2, 1997.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.5, p. 943–952, set.- out. 2017.

SANTOS, R. F dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SANTOS, R. F dos. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. 192 p.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000: Nota Técnica Explicativa** / coordenação Omar Yazbek Bitar. São Paulo - IPT: Brasília, DF - CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. – (Publicação IPT; 2016).

SÃO PAULO. Superintendência de projetos e de obras. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos - Método de "I-Pai-Wu"**. São Paulo, SP: PMSP, 1999.

SÃO PAULO. Superintendência de projetos e de obras. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos - Método Racional**. São Paulo, SP: PMSP, 1999.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, DAEE, 2005. 116 p. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/guiapratico\\_dae\\_2005.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/guiapratico_dae_2005.pdf)>. Acesso em 26 fev. 2019.

SÃO PAULO. Sistema Ambiental Paulista. **Mapa de Uso e Cobertura da Terra da UGRHI 5 (PCJ) na escala de 1:25.000**. Disponível em: <[http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2013/02/Ficha\\_Tecnica\\_Mapeamento\\_UGRHI051.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2013/02/Ficha_Tecnica_Mapeamento_UGRHI051.pdf)>. Acesso em 2018.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambient. soc.**, São Paulo, v.18, n.3, p. 137-152, jul-set. 2015.

SENATE DEPARTMENT FOR THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND CLIMATE PROTECTION. **Landscape Planning**. Disponível em: <[http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/index\\_en.shtml](http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml)>. Acesso em 11 de abril de 2018.

SESTARI, E.; SEYDELL, M. R. R.; BOZZA, J. L. Georreferenciamento de bacias hidrográficas para o planejamento de uso e ocupação do solo. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. **Anais...** [s.l.], p. 653-662, 2007.

SHUTES, R. B. E. Artificial wetlands and water quality improvement. **Environment International**, v. 26, p. 441-447, 2001.

SOUSA, L. F. N. M. de. **Metodologia para o mapeamento de cheias em zonas de risco. Aplicação a um troço de um rio do norte de Portugal**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento



Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.2, p. 9–18, abr.- jun. 2012.

SUZUKI, C Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH, F. I. K. Jr. **Drenagem subsuperficial de pavimentos. Conceitos e dimensionamento**. Oficina de Textos. São Paulo, 2014. 1º edição.

TASSI, R. *et al.* Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan.-mar. 2014.

TASSI, R. *et al.* Preferências da população de diferentes estratos sociais no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 39-52, jul.-set. 2016.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais: Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais. Métodos SCS**, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TOMAZ, P. Curso de Manejo de águas pluviais: **Capítulo 16 - Reservatório de infiltração**. [S.l., s.n.], 21 set. 2010. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo16\\_bacia.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo16_bacia.pdf)>. Acesso em 12 mar. 2018.

TOMAZ, P. Curso de Manejo de águas pluviais: **Capítulo 99 - Método do SCS (Soil Conservation Service) para várias bacias**. [S.l., s.n.], 27 nov. 2012. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_metodo\\_calculos\\_vazao/capitulo99.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo99.pdf)>. Acesso em 06 abr. 2019.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: Conhecer para prevenir**. 2009. São Paulo: Instituto Geológico. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2019.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.5, n.1, Jan/Mar 2000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da

UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p.16-36.

TUCCI, C.E.M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.8, n.2, p. 195-199, Abr/Jun 2003.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p.277-348.

UACDC - UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER. **Low Impact Development: a design manual for urban areas**. Fayetteville, Arkansas: University of Arkansas Press, 2010. Disponível em: <[http://www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low\\_Impact\\_Development\\_Manual-2010.pdf](http://www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf)> Acesso em 07 ago. 2018.

UFJF, PET Civil. **Sistemas de Drenagem Sustentável**. PET Engenharia Civil UFJF. [S.I.], 10 nov. 2011. Disponível em: <<https://petcivilufjf.wordpress.com/?s=Sistemas++de++Drenagem++Sustent%C3%A1vel&submit=Pesquisa>>. Acesso em 12 mar. 2019.

US EPA. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. **Green Infrastructure Opportunities that Arise During Municipal Operations**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2015. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/green\\_infrastructure\\_roadshow.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/green_infrastructure_roadshow.pdf)>. Acesso em 22 mar. 2019.

VICENTINI, T. A. **Fase básica do Plano Diretor de drenagem para a cidade de Campinas**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas: UNICAMP. Campinas, 1993.

VILLAÇA, M. G.; NASCIMENTO, W. M. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, n. 7, p. 102-122, mai. 2008.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**. v. 8, n. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011.

ZHANG, Q. *et al.* The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. **Landscape and Urban Planning** 144:142-150. <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.017>>. Out. 2015.

ZUFFO, A. C. **Equações de Chuvas São Eternas?** In XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro/SP. Brasil, out. 2004.