

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Alesi Teixeira Mendes

**DISPOSITIVOS DE DRENAGEM URBANA DE BAIXO IMPACTO PARA
DIMINUIÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA BACIA
URBANA DO CÓRREGO BREJO COMPRIDO, PALMAS – TO**

Palmas/TO

2019

Alesi Teixeira Mendes

**DISPOSITIVOS DE DRENAGEM URBANA DE BAIXO IMPACTO PARA
DIMINUIÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA BACIA
URBANA DO CÓRREGO BREJO COMPRIDO, PALMAS – TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Modelagem hidráulica e hidrológica.

Orientador: Prof. Dr. Rui da Silva Andrade.

Palmas/TO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alesi Teixeira Mendes

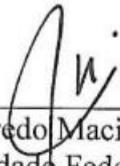
**DISPOSITIVOS DE DRENAGEM URBANA DE BAIXO IMPACTO PARA
DIMINUIÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA BACIA
URBANA DO CÓRREGO BREJO COMPRIDO, PALMAS – TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovado pela seguinte banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA



Dr. Rui da Silva Andrade (presidente da banca)
Universidade Federal do Tocantins



Dr. Girlene Figueiredo Maciel (membro titular interno)
Universidade Federal do Tocantins



Dr. Felipe de Azevedo Marques (membro titular externo)
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em: 07 de novembro de 2019

Local de realização da defesa: Bloco E, sala 05

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M538d Mendes, Alesi Teixeira.

Dispositivos de drenagem urbana de baixo impacto para diminuição da vazão no sistema de microdrenagem da bacia urbana do córrego Brejo Comprido, Palmas – TO. / Alesi Teixeira Mendes. – Palmas, TO, 2019.
119 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2019.

Orientador: Rui da Silva Andrade

1. Drenagem urbana. 2. Dispositivos de baixo impacto. 3. Drenagem sustentável. 4. SWMM. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Deus por me conceder força e conhecimento, e
minha família por ser o canal que Deus usou.

AGRADECIMENTOS

Deus sempre foi um amigo presente e até o mais desatento dos observadores seria capaz de perceber a Sua mão nos desdobramentos da minha vida. Cada escolha tomada, cada oportunidade e sonho alcançados são consequências de Seu cuidado e providência. As primeiras e mais importantes lições que tive na vida foram sobre Seu amor, cuidado e companhia. Conheci o Senhor por meio dos meus pais e O reconheço a cada dia no mundo. Sou grato por Suas promessas e por Sua fidelidade em cumpri-las.

Sou grato aos meus pais, Luciano e Ceila, por terem instruído a mim e a minha irmã nos caminhos da retidão, da integridade e do temor ao Senhor. Por serem intencionalmente as primeiras e mais concretas influências positivas e exemplos de responsabilidade. Vocês são, sem dúvida alguma, a base de toda e qualquer conquista alcançada e coparticipantes das minhas vitórias. Meus amigos, meus primeiros professores e meus mestres em toda ciência necessária para uma vida decente e feliz. Obrigado, amo vocês! Agradeço também a minha irmã, que mesmo sem saber ou até insistindo em não acreditar é um exemplo de dedicação e empenho. Você é metade de mim. Te amo!

Minha gratidão também aos amigos especiais que compartilharam de minhas lutas e dividiram comigo seus talentos e habilidades humanas e profissionais para finalizar essa dissertação.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, por todo conhecimento transmitido e pelas oportunidades de produzir conteúdo científico para o desenvolvimento da pesquisa no Tocantins.

Por último, agradeço ao professor, amigo e orientador Rui da Silva Andrade por todo conhecimento transmitido e por não poupar esforços em ensinar e auxiliar durante os anos do programa de Mestrado. Gentilmente me presenteou com o manual que orientou as simulações que fundamentam essa dissertação. Gesto simples, mas que evidencia o comprometimento genuíno em ensinar. Meu amigo, obrigado!

Primeiro foi necessário civilizar o homem em relação ao próprio homem. Agora é necessário civilizar o homem em relação à natureza e aos animais.

VICTOR HUGO

RESUMO

MENDES, A. T. **Dispositivos de drenagem urbana de baixo impacto para diminuição da vazão no sistema de microdrenagem da bacia urbana do Córrego Brejo Comprido, Palmas – TO**. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

O desenvolvimento proposto pela *Low Impact Development* (LID) envolve transformações profundas nos sistemas de drenagem, entendidos aqui como toda a estrutura necessária para o manejo das águas pluviais não apenas como os dispositivos de captação e transporte das águas. Deste modo, os objetivos dessa dissertação envolvem simulações na rede de microdrenagem, prevendo a implantação de dispositivos de controle na fonte que tornem o sistema menos impactante. A natureza da pesquisa é computacional com uso majoritário do SWMM. A microbacia, onde as simulações foram desenvolvidas é a do Córrego Brejo Comprido. Essa microbacia possui grande parte de sua extensão em zona urbana do município de Palmas – TO, com área de drenagem abrangendo quase todo o Plano Diretor Central da cidade.

Foram considerados dois cenários de simulação, construídos levando em consideração o comportamento das microbacia em função a chuva de projeto e tempo de retorno. O primeiro cenário se configura na condição atual da microbacia do Córrego Brejo Comprido, no qual o escoamento gerado pelas águas pluviais é direcionado à rede drenagem existente, sem a presença de técnicas que possibilitem o aumento da infiltração. Por sua vez, o segundo cenário foi configurado sobre o conceito de sistema sustentável de drenagem, idealizado pela simulação de implantação de técnicas de LID na infraestrutura de manejo do escoamento superficial.

Os dispositivos de LID previstos nas simulações foram células de biorretenção e trincheiras de infiltração. As simulações foram bem-sucedidas, com erros de continuidade referentes ao escoamento superficial e a propagação de vazão com valores menores que 1,0%. A simulação de implantação das trincheiras e das células de biorretenção na microbacia do Brejo Comprido resultou em reduções nos volumes de escoamento do sistema de microdrenagem. Houve redução de 48% na vazão na rede e de 50% no escoamento superficial.

Palavras-chave: drenagem urbana, dispositivos de baixo impacto, SWMM.

ABSTRACT

MENDES, A. T. **Low impact urban drainage devices to decrease the flow in the micro drainage system of the Córrego Brejo Comprido urban basin, Palmas - TO.** 2019. 119 f. Dissertation (Master's in Environmental Engineering) - Postgraduate Program in Environmental Engineering, Federal University of Tocantins, Palmas, 2019.

The development proposed by the Low Impact Development (LID) involves profound transformations in drainage systems, understood here as the entire structure required for stormwater management, not just water catchment and transport devices. Thus, the objectives of this dissertation involve simulations in the microdrainage network, foreseeing the implantation of control devices at the source that make the system less impactful. The nature of the research is computational with majority use of SWMM. The watershed where the simulations were developed is the Brejo Comprido Stream. This microbasin has much of its extension in an urban area of the city of Palmas - TO, with drainage area covering almost the entire Central Master Plan of the city.

Two simulation scenarios were considered, built taking into account the behavior of the watersheds as a function of design rain and return time. The first scenario is the current condition of the Brejo Comprido Stream microbasin, in which the runoff generated by rainwater is directed to the existing drainage network, without the presence of techniques that allow increased infiltration. In turn, the second scenario was configured on the concept of sustainable drainage system, idealized by the simulation of the implementation of LID techniques in the runoff management infrastructure.

The LID devices predicted in the simulations were bioretention cells and infiltration trenches. The simulations were successful, with continuity errors related to runoff and flow propagation with values lower than 1.0%. The simulation of the trenches and bioretention cells implantation in the Brejo Comprido watershed resulted in reductions in the flow volumes of the micro drainage system, with a reduction of 48% in the network flow and 50% in the surface flow.

Keywords: urban drainage, low impact devices, SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bacia hidrográfica antes da urbanização.....	22
Figura 2. Bacia hidrográfica após a urbanização.....	23
Figura 3. Hidrograma de bacia urbanizada e não urbanizada.....	24
Figura 4. Impacto da urbanização na vazão de uma bacia hidrográfica.....	25
Figura 5. Arquitetura das quadras do Plano Diretor Sul.....	33
Figura 6. Mapa dos principais corpos hídricos que drenam a área urbana de Palmas	34
Figura 7. Dispositivo de drenagem sem limpeza.....	35
Figura 8. Dispositivo de drenagem sem limpeza.....	35
Figura 9. Falta de meio-fio originando assoreamento na via de acesso a rotatória.....	36
Figura 10. Alagamento na Av. NS-4 próximo a rotatória da Av. LO-25.....	36
Figura 11. Alagamento na Av. NS-4 próximo a rotatória da Av. LO-25.....	36
Figura 12. Canteiro central em frente a rotatória da Av. NS-4 com a Av. LO-25	36
Figura 13. Bacia hidrográfica com uso de técnicas de LID.....	40
Figura 14. Cadeia de gestão dos níveis hierárquicos.....	41
Figura 15. Esquema de sistema convencional de biorretenção	43
Figura 16. Esquema de uma trincheira de infiltração	45
Figura 17. Fluxograma das atividades desenvolvidas	53
Figura 18. Mapa da microbacia do Ribeirão Brejo Comprido	54
Figura 19. Mapa do Parque Cesamar.....	56
Figura 20. Série temporal	61
Figura 21. Detalhamento do PV adotado nas correções da rede	67
Figura 22. Mapa da microbacia do Córrego Brejo Comprido.....	72
Figura 23. Mapa da classificação da cobertura do solo.....	72
Figura 24. Pico de escoamento e alagamento no sistema.....	74
Figura 25. Escoamento superficial nas sub-bacias de estudo.....	75
Figura 26. Capacidade do sistema de microdrenagem sem dispositivos LID.....	76
Figura 29. Velocidades nos condutos sem dispositivos LID no sistema.....	78
Figura 30. Pico de escoamento e alagamento no sistema.....	80
Figura 31. Capacidade do sistema de microdrenagem com dispositivos LID	82
Figura 34. Velocidades nos condutos com dispositivos LID no sistema	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Percentuais de população urbana no mundo.....	20
Tabela 2. Percentuais de população urbana no Brasil	21
Tabela 3. Tipos de drenagem.....	29
Tabela 4. Técnicas LID e camadas utilizadas na sua representação pelo SWMM	52
Tabela 5. ICR das bacias hidrográfica urbanas de Palmas	55
Tabela 6. Valor para avaliar o grau de concordância a partir do índice Kappa.....	58
Tabela 7. Curva Número para áreas urbanas	62
Tabela 8. Profundidades adotadas para os PV.....	68
Tabela 9. Área total dos dispositivos LID	70
Tabela 10. Parâmetros morfométricos da microbacia	71
Tabela 12. Matriz de confusão	73
Tabela 13. Valores de infiltração e escoamento superficial em cada sub-bacia.....	74
Tabela 14. Síntese da sobrecarga nos condutos (em horas)	77
Tabela 15. Valores de infiltração e escoamento superficial em cada sub-bacia.....	80
Tabela 17. Síntese da vazão dos trechos.....	83
Tabela 18. Percentual de redução nas simulações	83
Tabela 19. Parâmetros adotados nas sub-bacias.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Impactos hidrológicos da urbanização por vários autores.....	25
Quadro 2. Principais medidas não-estruturais segundo Barth (1997)	31
Quadro 3. Princípios que estruturam a LID.....	39
Quadro 4. Módulos e Objetos físicos constituintes do SWMM.....	51
Quadro 5. Tipos de coberturas e exemplos de captura	59
Quadro 6. Tipos característicos de solo.....	63

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Equação combinada de Manning	48
Equação 2. Equação da infiltração de Horton	49
Equação 3. Equação de Green e Ampt	49
Equação 4. Equação da Continuidade	50
Equação 5. Equação da Quantidade de Movimento	50
Equação 6. Equação Índice Kappa	58
Equação 7. Equação IDF de Andrade (2014)	60
Equação 8. Equação do Tempo de Concentração	60
Equação 9. Equação das perdas iniciais	63
Equação 10. Equação do volume de retenção potencial	63
Equação 11. Equação da precipitação efetiva	64
Equação 12. Equação da largura da subbacia	65

LISTA DE ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
BH	Bacia Hidrográfica
BL	Boca de Lobo
BPM	Boas Práticas de Manejo
CH	Ciclo Hidrológico
CN	Número curva (<i>curve number</i>)
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
LID	Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (<i>low impact development</i>)
MDT	Modelo Digital de Terreno
MDE	Modelo Digital de Elevação
MR	Método Racional
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RD	Reservatório de Detenção
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
EPA	<i>Environment Protection Agency</i>
SuDS	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis
ANA	Agência Nacional de Águas
PV	Poço de Vistoria
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>
IMP	Práticas de Gestão Integradas
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i>
CAD	Desenho Assistido por Computador
UHE	Usina Hidrelétrica
TauDEM	<i>Terrain Analysis Using Digital Elevation Models</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	URBANIZAÇÃO E O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	19
2.2	DRENAGEM URBANA NO BRASIL	27
2.2.1	Componentes do sistema de drenagem urbana	28
2.2.2	Medidas não-estruturais	30
2.2.3	Medidas estruturais	32
2.3	REALIDADE DA DRENAGEM URBANA EM PALMAS	33
2.3.1	A revisão do Plano Diretor e a Drenagem Urbana Sustentável	37
2.4	DESENVOLVIMENTO URBANO DE BAIXO IMPACTO	38
2.4.1	Cadeia de Gestão da LID	41
2.4.2	Dispositivos de controle e gestão integrada da drenagem urbana	42
2.4.2.1	<i>Células de biorretenção</i>	43
2.4.2.2	<i>Trincheiras de infiltração</i>	44
2.5	MODELAGEM E A CRIAÇÃO DE CENÁRIOS	46
2.5.1	<i>Storm Water Management Model (SWMM)</i>	47
2.5.2	Equações governantes do SWMM	48
2.5.3	Aplicações do SWMM	51
3	METODOLOGIA	53
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA MICROBACIA DE ESTUDO	54
3.1.1	Análise morfométrica da bacia	57
3.1.2	Determinação do <i>curve number</i> da bacia	57
3.2	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS	59
3.2.1	Precipitação de projeto	60
3.2.2	Infiltração, escoamento superficial e propagação de fluxo	61
3.3	CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICO-HIDROLÓGICAS	64
3.3.1	Parâmetros adotados nas sub-bacias	64
3.3.2	Parâmetros adotados nas redes de drenagem	66
3.3.3	Parâmetros adotados nos dispositivos LID	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71

4.1	DELIMITAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBRACIA	71
4.2	SIMULAÇÃO DO SISTEMA SEM LID	73
4.2.1	Escoamento superficial	73
4.2.2	Capacidade do sistema	76
4.2.3	Velocidade	78
4.3	SIMULAÇÃO DO SISTEMA COM LID	79
4.3.1	Escoamento superficial	79
4.3.2	Capacidade do sistema	82
4.3.3	Velocidade	84
5	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	APÊNDICES	94
	ANEXOS	104

1 INTRODUÇÃO

O conceito de Saneamento Ambiental apresentado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) é de ações integradas de aspecto socioeconômico com finalidade de fornecer saúde pública, assegurando a população urbana e rural melhores condições de vida por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas (BRASIL, 2006).

Condições básicas de saneamento são direitos humanos fundamentais, que asseguram ao indivíduo saúde e dignidade. O Brasil permaneceu quase duas décadas sem estabelecer uma regulamentação no setor, apenas em 5 de janeiro de 2007 a Lei Federal N° 11.445, Lei do Saneamento Básico, foi sancionada estabelecendo as diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007).

Esse marco legal proporcionou além de estudos e políticas públicas a alocação de recursos para melhoria do setor. Em 2006, cerca de 90% da população urbana brasileira era atendida com água potável e 60% com redes coletoras de esgotos. E em 2015, foram comprometidos no país 9,35 bilhões de reais e desembolsados outros 11,33 bilhões de reais, entre recursos federais e dos fundos financiadores, em iniciativas voltadas ao saneamento básico (BRASIL, 2006; BRASIL, 2017).

Do conjunto de ações que constitui o saneamento ambiental um dos mais sensíveis e mais afetados pelo processo de urbanização é o sistema responsável pelo manejo das águas de chuva: a drenagem urbana. Contudo, do total desembolsado em 2015 para ações de saneamento menos de 10% foram destinados a esse eixo (BRASIL, 2017).

A urbanização que, quase inevitavelmente, tem ocorrido de forma acelerada e desordenada em diversas cidades brasileiras impacta direta e abruptamente o comportamento do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas. As implicações das interferências antrópicas nas bacias são geralmente indesejadas dentro do cotidiano das cidades como, por exemplo, o escoamento superficial acentuado, pontos de alagamento e inundações, e arraste de sedimento para vias de circulação de veículos.

O sistema de drenagem de uma cidade é um parâmetro de destaque para aferir os problemas oriundos da expansão urbana desordenada. A ineficiência desse sistema se manifesta imediatamente após o início de chuvas significativas e os transtornos são logo percebidos pela população (BRASIL, 2006).

1.1 JUSTIFICATIVA

A gestão das águas pluviais na conjuntura atual se configura como uma indispensável ferramenta estruturante para a saúde pública. Além disso, a Lei do Saneamento Básico também estabeleceu os municípios como os titulares dos serviços públicos de saneamento básico e, portanto, responsáveis por desenvolver as diretrizes, programas e projetos para a melhoria da salubridade ambiental do município.

Lei 11.445, estabeleceu como documento balizador para gestão do saneamento básico, os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), ferramenta de planejamento e gestão composto por diretrizes, estudos, programas, projetos, prioridades, metas, atos normativos e procedimentos que contempla os quatro eixos do saneamento básico: o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e a drenagem urbana.

O PMSB deve compatibilizar o conjunto de serviços de infraestrutura urbana com o propósito de alcançar um saneamento universalizado. Nessa perspectiva, o sistema de drenagem apresenta limitações que precisam ser superadas. O modelo tradicional de drenagem baseado na ideia de conduzir as vazões à jusante não tem sido capaz de corrigir os diversos problemas oriundos da urbanização. Palmas, a capital do Tocantins, é um exemplo dessa realidade, por consequência da impermeabilização do solo decorrente da urbanização acelerada e das obras de ocupação que saturam o potencial de escoamento dos corpos hídricos, a cidade tem sofrido com alagamentos em várias avenidas ao longo dos anos.

Assim o estudo de medidas menos impactantes para o manejo de águas pluviais é uma alternativa para os problemas enfrentados na cidade. De fato, é importante que as águas pluviais das áreas urbanas sejam devidamente drenadas, contudo é preciso que a estrutura do sistema de drenagem seja repensada para que novos resultados sejam possíveis. As cidades devem possuir sistemas de escoamento das águas pluviais eficientes e sustentáveis, capazes de evoluir à medida que a cidade evolui, para atender as necessidades da população no decorrer do tempo e garantir uma qualidade de vida adequada.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal dessa dissertação é simular a implantação de dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*low impact development*, LID) relacionadas à drenagem urbana na bacia do Córrego Brejo Comprido, em Palmas – TO e avaliar a sua eficiência.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar a bacia de estudo e o uso e ocupação do solo;
- Definir as áreas de contribuição a serem estudadas e as técnicas de LID passíveis de serem inseridas nas simulações;
- Comparar a vazão nas redes de microdrenagem para o cenário atual da bacia com as vazões de um cenário idealizado com dispositivos de LID; e
- Analisar a eficiência na redução da vazão nas redes de microdrenagem nas simulações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O escoamento das águas pluviais em uma bacia não antropizada ocorre respeitando um processo construído ao longo dos anos, estruturado pela capacidade de resposta natural da bacia aos efeitos do ciclo hidrológico. Esse comportamento “natural” possui suas particularidades e limites, e seus efeitos são absorvidos pela própria bacia gerando mudanças gradativas e harmoniosas. Diante da aparente, e cada vez mais comprovada, impossibilidade de não urbanizar as bacias para expansão das cidades, percebe-se a importância de criar técnicas de gestão das pluviais que promova um desenvolvimento urbano menos impactante, ou seja, mais parecidos com o comportamento “natural” da bacia.

A modelagem hidráulico-hidrológica tem permitido a elaboração de possíveis cenários onde medidas sustentáveis são aplicadas a diversos setores e sistemas urbanos permitindo analisar o comportamento da bacia hidrográfica e os benefícios, ou malefícios, dessas medidas. A compreensão e estudo desses modelos se mostra uma excelente alternativa para auxiliar na gestão da drenagem.

Esta revisão bibliográfica serve, portanto, como subsídio para auxiliar na construção dos cenários, no desenvolvimento da modelagem hidráulico-hidrológica e na discussão dos seus resultados. Sua estrutura se divide em quatro tópicos primários: urbanização e o manejo das águas pluviais; a drenagem urbana no Brasil; Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID); e a modelagem hidráulico-hidrológica.

2.1 URBANIZAÇÃO E O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Inicialmente é necessário entender que a urbanização envolve mais do que o crescimento das cidades. Esse processo ocorre quando a população urbana cresce mais que a população total do país ou da região. Deste modo, enquanto o crescimento das cidades não tem limites, uma vez que a cidade pode expandir-se indefinidamente, a urbanização é um processo limitado. Por exemplo, nos casos em que a população rural cresce na mesma proporção que a população urbana, apesar de a cidade crescer não ocorre em vias de fato urbanização (SILVA; MACÊDO, 2009).

Os principais fatores que contribuíram para o processo de urbanização nos países capitalistas desenvolvidos foram a industrialização e a mecanização do campo. O desenvolvimento industrial deu origem ao fenômeno migratório de trabalhadores que perderam espaço no campo, devido a mecanização dos serviços, e que encontraram oportunidades nas

idades. Com o passar do tempo outros fatores também contribuíram com o aumento da população urbana: as grandes melhorias sanitárias, o desenvolvimento dos transportes e o avanço técnico das sociedades modernas (SILVA; MACÊDO, 2009).

A Tabela 1 apresenta os percentuais da população urbana no mundo e estimativas de urbanização até o ano de 2050. Em 2010 metade da população mundial já vivia em áreas urbanas, atualmente esse percentual atingiu os 55% e a estimativa para 2050, segundo o Departamento de Assuntos Económicos e Sociais das Nações Unidas, é de que a população que vive em centros urbanos alcance os 68%.

Tabela 1. Percentuais de população urbana no mundo

Region, subregion, country or area	Annual Percentage of Population at Mid-Year Residing in Urban Areas				
	1950	2000	2010	2019	2050
WORLD	29,6	46,7	51,7	55,7	68,4
More developed regions ^a	54,8	74,2	77,2	78,9	86,6
Less developed regions ^b	17,7	40,1	46,1	51,2	65,6
Least developed countries ^c	7,5	25,0	29,5	34,1	52,5
Less developed regions, excluding least developed countries ^d	19,0	42,4	49,0	54,5	69,4
Less developed regions, excluding China	20,3	41,2	44,9	48,4	62,7
High-income countries ^e	58,5	76,8	80,0	81,7	88,4
Middle-income countries ^e	19,9	41,6	47,9	53,2	68,3
Upper-middle-income countries ^e	22,1	50,3	59,8	67,4	82,6
Lower-middle-income countries ^e	17,2	33,1	37,1	41,1	59,0
Low-income countries ^e	9,3	25,7	28,9	32,7	50,2
Sub-Saharan Africa ^f	11,1	31,4	36,1	40,9	58,1

(a) More developed regions comprise Europe, Northern America, Australia/New Zealand and Japan.

(b) Less developed regions comprise all regions of Africa, Asia (except Japan), Latin America and the Caribbean plus Melanesia, Micronesia and Polynesia.

(c) The group of least developed countries, as defined by the United Nations General Assembly in its resolutions (59/209, 59/210, 60/33, 62/97, 64/L.55, 67/L.43, 64/295 and 68/18) included 47 countries in June 2017: 33 in Africa, 9 in Asia, 4 in Oceania and one in Latin America and the Caribbean.

(d) Other less developed countries comprise the less developed regions excluding the least developed countries.

(e) The country classification by income level is based on 2016 GNI per capita from the World Bank.

(f) Sub-Saharan Africa refers to all of Africa except Northern Africa.

Fonte: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

O processo de urbanização a partir do século XX se tornou mais acelerado em países em desenvolvimento, que por consequência de suas limitações agravaram os problemas oriundos do aumento da ocupação das cidades. A urbanização contemporânea é fortemente marcada pela velocidade e generalização, acarretando grande sobrecargas à infraestrutura dos serviços públicos e acentuando os contrastes entre as diversas partes que compõem o espaço urbano (RIBEIRO; VARGAS, 2015).

No Brasil o grande ciclo de expansão da urbanização no Brasil é relativamente recente. Em 1940 apenas 31,2% da população brasileira residia em áreas urbanas. O aumento da população que passou a residir em áreas urbanas ocorreu sistematicamente nos anos seguintes, até que em 1970 a população urbana superou a rural (55,9%). Atualmente o crescimento urbano, segundo o último levantamento censitário, registra um percentual de urbanização de 81,2%, no ano 2000 (Tabela 2) (BRITO; HORTA; AMARAL, 2018).

Tabela 2. Percentuais de população urbana no Brasil

Region, subregion, country or area	Annual Percentage of Population at Mid-Year Residing in Urban Areas in Brazil					
	1950	1970	2000	2010	2019	2050
Brazil	36,2	55,9	81,2	84,3	86,8	92,4

Fonte: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

Apesar desse processo ser considerado o motor das inovações e uma tendência, principalmente, diante de uma sociedade cada vez mais globalizada, a urbanização também pode ser considerada um dos elementos de maior impacto para a transformação, e talvez degradação, ambiental. A ocupação do solo e a velocidade em que a cidade expande são incompatíveis com os processos de adaptação e renovação da natureza. Deste modo, o ambiente não é capaz de absorver biologicamente tais modificações, forçando a natureza a responder à transformações que ocorrem numa razão inversamente proporcional à capacidade de renovação dos ecossistemas naturais (MELLO, 1993).

Segundo Tucci (2002, p. 35) o ciclo hidrológico “é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”. E embora esse ciclo, como característica geral, possa ser entendido com um sistema hidrológico fechado, os subsistemas onde esse processo ocorre são abertos e abundantes.

A interferência do homem no ciclo hidrológico acarreta profundas mudanças em sua dinâmica, Tucci (2003, p. 12) destaca que:

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema e se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza.

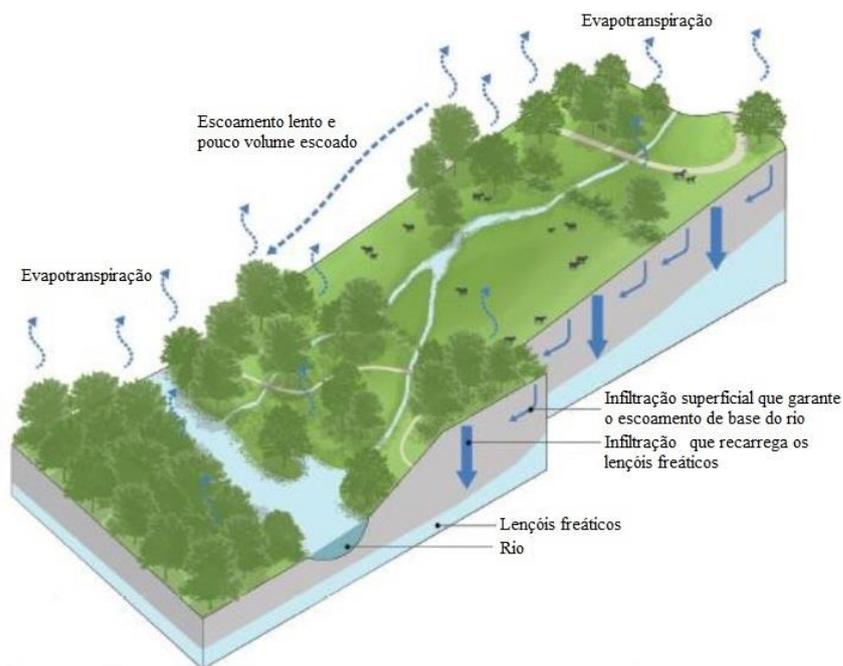
As alterações que homem provoca na natureza interferem diretamente no ciclo da água. Por exemplo, o uso dos reservatórios, que geram vastos espelhos d’água, alteram a ocorrência

dos vapores atmosféricos, o desmatamento que interfere no processo de evapotranspiração, a impermeabilização dos solos que modifica as características de infiltração impedindo o abastecimento dos lençóis freáticos (PASCHOAL, 2012).

Dentre as regiões de grande relevância para a realização das análises do ciclo da água destacam-se as bacias hidrográficas (BH), justamente por propiciarem aplicações simplificadas do balanço hídrico que permitem avaliações dos componentes do ciclo hidrológico numa região hidrologicamente definida (CARVALHO; SILVA, 2006).

A Figura 1 ilustra o comportamento do ciclo hidrológico em uma bacia não antropizada, na qual a dinâmica da água acontece de forma bem distribuída no tempo, respeitando o intervalo natural de resposta e adaptação da própria bacia.

Figura 1. Bacia hidrográfica antes da urbanização



Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., (2015).

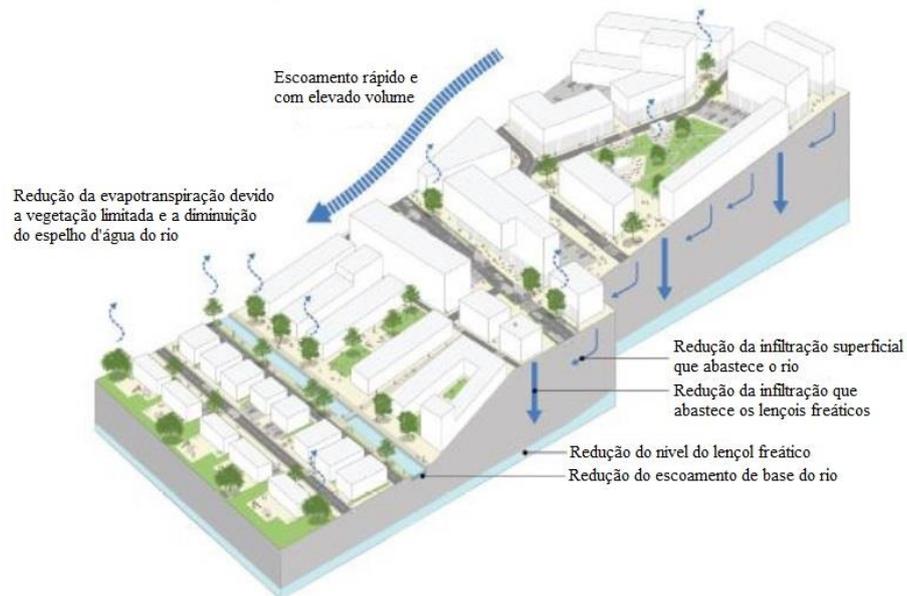
A urbanização produz intensas modificações no ciclo hidrológico das bacias e consequentemente nos corpos hídricos. A necessidade de abastecimento das cidades acaba por suprimir fontes existentes à montante ou em bacias vizinhas ou, ainda, da água subterrânea. O consumo da água gera aumento da produção de esgoto que, muitas vezes, é lançado nos corpos hídricos sem tratamento.

Em decorrência da urbanização há o aumento das áreas impermeáveis e a canalização dos rios, o que aumenta os picos de cheia e sua frequência para a mesma precipitação; e o

aumento da velocidade da água e da produção de sedimentos e dos resíduos sólidos que escoam para a drenagem (TUCCI, 2010).

A Figura 2 apresenta a transformação de uma bacia não urbanizada, como a ilustrada na figura anterior, após a urbanização e as consequências desse processo no ciclo hidrológico.

Figura 2. Bacia hidrográfica após a urbanização



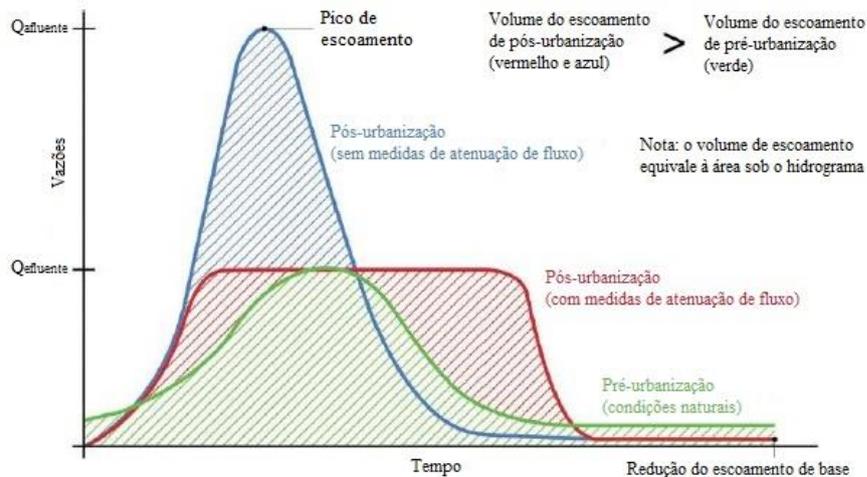
Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., (2015).

Na tentativa de conter as consequências das alterações no ciclo hidrológico medidas, geralmente de natureza compensatórias, são implantadas gerando mais transformações. Melo (2007, p. 18) aponta que os próprios sistemas de drenagem urbana impactam o meio-ambiente:

A preocupação com a defesa dos recursos hídricos tornou cada vez mais importante a identificação dos fatores que influenciam sua qualidade. As redes de drenagem urbana constituem uma das principais fontes de degradação das características físicas, químicas e biológicas do ecossistema. A remoção ou adição de substâncias nos cursos de água, através do transporte de carga poluentes difusas e acidentais de todos os tipos e categorias provocam sérios impactos negativos de poluição hídrica.

O hidrograma a seguir (Figura 3) ilustra a diferença do comportamento de uma bacia antes e depois da urbanização, na qual se percebe o acréscimo no pico da vazão proporcionado pelo aumento da impermeabilização e o aumento do escoamento superficial.

Figura 3. Hidrograma de bacia urbanizada e não urbanizada



Fonte: Adaptado Woods-Ballard, et al., (2015).

Conforme Tucci (1999), as principais modificações hidrológicas sofridas nas bacias em decorrência da urbanização são: i) a redução da infiltração no solo, o que provoca o aumento do escoamento superficial devido ao volume de precipitação que deixou de penetrar no solo e permaneceu na superfície. Em consequência desse aumento canais são construídos para conduzir as águas pluviais, tornando o escoamento superficial mais rápido e reduzindo o tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo; ii) redução do escoamento subterrâneo, uma vez que o abastecimento débil dos aquíferos tende a diminuir o nível do lençol freático devido à redução da infiltração, especialmente quando a área urbana é muito extensa; e iii) a redução da evapotranspiração em razão da substituição da cobertura natural, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.

Um estudo desenvolvido por Leopold (1968) apresenta o comportamento de bacias pós-urbanização a partir de dados colhidos em cidades dos Estados Unidos. Os resultados obtidos apontam uma relação direta entre o percentual de áreas impermeáveis, o percentual de áreas com rede de drenagem implantada e o acréscimo da vazão nos corpos hídricos que compõem o sistema de macrodrenagem da bacia. Dentre as consequências desse processo se destaca o aumento da vazão média de cheia que pode chegar a valores 6 vezes maiores que os de vazões em condições naturais. A Figura 4 é um dos principais resultados do trabalho da autora e apresenta a relação citada acima.

Figura 4. Impacto da urbanização na vazão de uma bacia hidrográfica



Fonte: Leopold, 1968.

Por outro lado, os impactos das impermeabilizações são apresentados por Jacobson (2011) em uma compilação de vários autores que desenvolveram pesquisas na área. O Quadro 1 apresenta o resumo das implicações hidrológicas da urbanização.

Quadro 1. Impactos hidrológicos da urbanização por vários autores

Autores	Características Hidrológicas	Impacto
Espei et al., 1966	Tempo de retardo Vazão de pico	Diminui Aumenta
Leopold, 1968	Vazão do leito menor	Aumenta
Seaburn, 1969	Duração da cheia	Diminui
Hammer, 1972	Área da seção transversal do canal	Aumenta
Hollis, 1975	Tempo de recorrência para pequenas cheias Tempo de recorrência para grandes cheias	Aumenta muito Aumenta pouco
Graf, 1977	Densidade de drenagem Tempo de retardo	Aumenta Diminui
Arnold et al., 1982	Erosão das margens Tamanho do material sedimentado Taxa de escoamento de material sedimentado	Aumenta Aumenta Aumenta
Simmons e Reynolds, 1982	Escoamento de base	Diminui

Fonte: Jacobson, 2011.

Segundo Carvalho e Silva (2006) o estudo do escoamento superficial e, por consequência, das vazões, pode ser a mais importante das fases do ciclo hidrológico para um engenheiro, justamente por tratar da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, uma

vez que a maior parte dos estudos hidrológicos envolvem o aproveitamento da água superficial e a proteção quanto aos efeitos gerados pelo deslocamento da água.

Para Righetto (2009) a constatação desses problemas tem despertado a consciência ambiental de se realizar a gestão das águas urbanas de forma integrada e sustentável. Procurando planejar e desenvolver técnicas que permitam que o desenvolvimento urbano gere menos passivos ambientais nas bacias.

Os impactos da urbanização na drenagem estão diretamente associados às práticas de uso do solo e a forma pela qual a infraestrutura urbana é planejada e regida. O Plano Diretor, aprovado por lei municipal, conforme determina a Lei 10.257 de 10 de julho de 2001, o Estatuto da Cidade, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. Nesse sentido, essa lei municipal integra a política municipal de saneamento, uma vez que a política municipal de saneamento é um dos componentes da política local de desenvolvimento urbano. Todavia, existe ainda enorme dificuldade em algumas regiões brasileiras dos Planos Diretores Municipais tratarem integradamente os quatro setores que, segundo a Lei 11.445/2007, comporiam o saneamento básico (BRITO, 2011).

Ainda há atrasos e déficits na integração e planejamento do saneamento ambiental no Brasil. Apesar da determinação do Estatuto da Cidade, de acordo com a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) de 2018, dos 5.570 municípios brasileiros apenas 2.866 possuem Plano Diretor (51,45%) (IBGE, 2018).

Além disso, é possível notar o tratamento segmentado que, geralmente, é dado às políticas setoriais. Como na maioria dos municípios a gestão dos serviços de água e esgotamento é delegada a companhias estaduais ou privadas que possuem autonomia técnica e financeira e a gestão dos demais serviços são de responsabilidade dos municípios que não possuem a mesma autonomia (COSTA; CAMPANTE; ARAÚJO, 2011).

Conforme destaca Oneda (2018, p. 18) “a gestão da drenagem urbana no Brasil, ainda não é tratada com a devida importância pelos gestores, dada a ausência de um planejamento específico para o setor”. Embora algumas iniciativas isoladas venham sendo desenvolvidas nas cidades brasileiras o mais usual é que o gerenciamento da drenagem urbana seja realizado pelas secretarias de obras municipais, quase sempre desvinculado das ações planejadas para os demais setores do saneamento.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais. E assim como a política municipal de saneamento, por meio do PMSB, o PDDU deveria estar integrado e em conformidade com a política local de

desenvolvimento urbano, o Plano Diretor, e com os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (ONEDA, 2018).

A próxima seção tem por finalidade apresentar os conceitos de drenagem urbana, seus componentes e características, bem como um panorama histórico do desenvolvimento dos sistemas no Brasil, e introduzir a necessidade de propor modelos de sistemas de drenagens mais sustentáveis e ambientalmente mais harmoniosos.

2.2 DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Por muitos anos no Brasil a compreensão da drenagem urbana era limitada e simplista, idealizada fundamentalmente na eficiência hidráulica do sistema. Uma concepção que, por vezes, era antinatural, ao determinar que águas urbanas deveriam ser totalmente drenadas para fornecer uma aparência mais saudável ou higiênica às cidades (SOUZA, 2013).

É considerado como higienista esse modelo de planejar a drenagem, e sua concepção data do início do século XIX, na Europa, no qual os países preconizavam a eliminação sistemática das águas paradas como medida fundamental para a saúde pública. As questões ambientais eram desconsideradas, talvez por falta de uma compressão mais holística dos projetistas (MELO, 2007).

No Brasil, o ano de 1898 inaugurou um novo período para a drenagem urbana pautado na racionalização e normalização dos sistemas. Os cálculos hidrológicos e o dimensionamento das obras hidráulicas passaram por substanciais melhorias, contudo, a ideia de deslocamento rápido das águas superficiais para jusante permaneceu (MELO, 2007).

Essa abordagem radical e centrada na perspectiva de conduzir rapidamente as águas urbanas para fora das cidades resultou em constantes e impactantes conflitos entre o planejamento das cidades e o desenvolvimento de sistemas de drenagem que não prejudicassem o meio ambiente. De forma muito comum, e inclusive hoje, é possível notar cidades que ignoraram as características naturais dos cursos d'água e desenvolveram seus espaços urbanos em áreas de várzeas naturalmente alagadiças. Esses problemas de planejamento geram uma gama de outros problemas tipicamente urbanos, por exemplo, o lançamento dos esgotos em corpos hídricos, e o aumento na concentração de sedimentos (SOUZA, 2013).

Deste modo, o conceito de drenagem urbana precisou evoluir para um ideal mais abrangente. Souza, Moraes e Borja (2013, p. 163) apresentam uma visão muito mais desenvolvida sobre a drenagem urbana onde “numa perspectiva moderna, o sistema de

drenagem deve ser visto como um dos componentes do espaço urbano, uma vez que é impossível dissociá-lo da infraestrutura das cidades”.

Concomitantemente, Melo (2007, p. 17) apresenta essa reformulação definindo a drenagem urbana como:

Um sistema de drenagem urbana é um conjunto ordenado de estruturas naturais e de engenharia que permite escoar as águas superficiais numa determinada área, de tal modo que sejam preservadas as qualidades naturais de conforto e de harmonia necessárias para o fluxo dos cursos de água, sem que venha a produzir impactos negativos para o homem.

Essa revolução aconteceu entre os anos 60 e 70 com o surgimento dos cálculos computacionais. Além da evolução tecnológica essa nova maneira de pensar a drenagem urbana adquiriu um viés científico ambiental, evidenciada pela necessidade de melhorias na proteção dos recursos hídricos. Atualmente, a concepção da drenagem urbana avança para uma melhor compreensão dos fenômenos atuantes em seu sistema, com a percepção de que a consciência ecológica e o desenvolvimento tecnológico definiram novas maneiras de interação humana com a natureza, reduzindo, ou até eliminando, os impactos antrópicos e naturais negativos, decorrentes da urbanização (MELO, 2007).

2.2.1 Componentes do sistema de drenagem urbana

O sistema urbano de drenagem pode ser conceituado como o conjunto de elementos que compõem a infraestrutura para a realização da coleta, transporte e lançamento dos efluentes pluviais que escoam na superfície (PINTO; PINHEIRO, 2006). Esses elementos são classificados como: drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem.

A drenagem na fonte é caracterizada pelo escoamento de áreas específicas, o lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios. Já a microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. E a macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem (TUCCI, 2003).

A microdrenagem é o conjunto de dispositivos que coletam as águas pluviais no início do escoamento, como os bueiros, as bocas de lobo, poços de visita e tubulações secundárias de menor diâmetro.

O sistema típico de microdrenagem de águas pluviais é constituído por quatro estruturas básicas: as redes de coletoras, os ramais de ligação, os dispositivos de entrada (sarjetas e sumidouros) e as poços de visita.

As redes coletoras são as tubulações que transportam as águas pluviais dos dispositivos de entrada até os dispositivos de macrodrenagem. Os ramais de ligação são as tubulações que ligam os sistemas de drenagem dos edifícios e conduzem as águas à rede pública de drenagem. As sarjetas e os sumidouros, ou bocas-de-lobo, são as estruturas que garantem o acesso das águas pluviais que escorrem nas vias para as redes. E os poços de visita são câmaras destinadas a permitir o acesso aos coletores, a fim de realizar inspeções, limpeza e manutenção das tubulações (SANTOS, 2010).

A macrodrenagem, por sua vez, é composta pelo conjunto de galerias de águas pluviais e canais, sejam eles naturais ou artificiais, que recebem os grandes volumes de água coletadas na microdrenagem (PEREIRA et al, 2005).

A Tabela 3 apresenta a distinção entre a macro e microdrenagem.

Tabela 3. Tipos de drenagem

MICRODRENAGEM	MACRODRENAGEM
São estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos.	São dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana.
É constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios.	É constituída pelos principais talwegues, fundos de vales, cursos d'água, independente da execução de obras específicas por ser o escoadouro natural das águas pluviais.

Fonte: Pinto e Pinheiro, 2006.

Contudo, o sistema de drenagem possui mais do que dispositivos de transporte de água, sendo também composto por uma série de medidas com a finalidade de mitigar os danos causados pelas inundações e prevenir a população dos riscos decorrentes da urbanização. Essas medidas de gestão de inundações são combinações estruturais e não-estruturais que atuam como mecanismos compensatórios minimizando os impactos para a população e os danos.

As medidas são classificadas em estruturais, quando o homem modifica os sistemas naturais de drenagem por meio de obras hidráulicas, e em não-estruturais, quando as medidas envolvem a recuperação de características naturais da bacia (PINTO; PINHEIRO, 2006; MÜLLER, 2011).

Além disso, de acordo com Melo (2007, p. 133) em geral, “as medidas não-estruturais tendem a ser mais adequadas para as áreas em processo de urbanização e as estruturais, para as áreas já urbanizadas”. A gestão das águas pluviais urbanas explora, de diferentes maneiras, os dois tipos de medidas, deste modo, há a contínua necessidade de ampliar os estudos a respeito de suas implicações. Os subtópicos a seguir exploram as características tanto das medidas estruturais como das não-estruturais.

2.2.2 Medidas não-estruturais

As medidas não-estruturais compreendem diversos tipos de ações, mas se destacam aquelas que procuram conservar e recuperar as características naturais de determinada região. Essas ações envolvem o planejamento dos sistemas de drenagem promovendo o aumento de áreas permeáveis na bacia para garantir maiores percentuais de infiltração, maior retenção na fonte, além de buscar a redução dos processos erosivos e do assoreamento. O objetivo principal dessas medidas é promover a redução do coeficiente de escoamento, ou coeficiente de runoff, que por consequência acarreta a redução dos picos de vazão e os problemas de cheias a jusante (OBRACZKA; D’ALCANTARA; LIMA, 2017).

De acordo com Melo (2007, p. 133) as medidas não-estruturais podem ser implantadas por diferentes atores sociais. O autor aponta que:

As iniciativas de desenvolvimento podem ser tomadas por indivíduos, por associações e entidades privadas, fomentadas e estimuladas pelos gestores municipais, sem a necessidade de grandes aportes financeiros. Algumas medidas não-estruturais, no entanto, necessitam de um maior empenho dos setores governamentais, de tal forma a viabilizar o seu início e, em alguns casos, seu desenvolvimento e aplicação dinâmica ao longo dos anos, mantendo os avanços alcançados e perseguindo melhorias que tornem a região mais sustentável ambientalmente.

Kawatoko (2012, p. 19 apud TAYLOR; FLETCHER, 2007) sugere que as principais medidas não-estruturais aplicadas como instrumentos de gestão das águas urbanas podem ser classificadas em cinco categorias:

- Planejamento de controle das cidades: medidas na forma de instrumentos vinculados juridicamente, que requerem projetos com princípios de desenvolvimento de baixo impacto, a serem aprovados pelos órgãos reguladores;

- Planejamentos estratégicos e institucionais: uso de planos de gerenciamento de qualidade das águas pluviais em toda área urbana e mecanismos que garantam o financiamento para apoiar a implementação desses planos;
- Procedimentos e práticas de prevenção à poluição: tais como varrição de ruas, a fim de prevenir e gerenciar acidentes ambientais em instalações comerciais e industriais;
- Educação e participação da população: desenvolvimento de programas intensivos e interativos para aumentar o conhecimento sobre o porquê e como elas podem reduzir a poluição das águas pluviais, mudar atitudes e promover a prática de comportamentos para melhoria da qualidade das águas;
- Controles regulatórios: como a promulgação e aplicação de leis locais para controlar a erosão e sedimentos em locais de construção.

O Quadro 2 apresenta uma relação das principais medidas não-estruturais de acordo com Barth (1997).

Quadro 2. Principais medidas não-estruturais segundo Barth (1997)

Emergencial	Instalação de vedação ou elemento de proteção temporária ou permanente nas aberturas das estruturas.
	Previsão de cheia e plano de procedimentos de evacuação e apoio à população afetada.
Temporári	Criar e tornar o Manual de Drenagem um modelo dinâmico de como tratar a drenagem da bacia, para o qual foi definido.
	Regulamentação da ocupação da área de inundação, delimitar por cercas, por obstáculos, se possível naturais, constante divulgação de alertas e avisos para a não ocupação da área de risco, na comunidade.
Definitiva	Estudos hidrológicos atualizados da bacia de contribuição e dos efeitos a jusante.
	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos.
	Seguro inundação (no Brasil ainda não existe).
	Programa de manutenção e inspeção das estruturas à prova de inundação, juntamente com o acompanhamento do controle da quantidade e da qualidade da água drenada.
	Adequação das edificações ribeirinhas ao convívio de eventuais enchentes e/ou alagamentos, como estruturas sobre pilotis.
	Regulamentação dos loteamentos e códigos de construção.
	Desocupação de construções existentes em áreas de inundação e relocação de possíveis ocupantes.
	Política de desenvolvimento adequada ao município, evitando prejuízos da inundação ou alagamento.
Educação Ambiental constante e dinâmica.	

Fonte: Melo, 2007.

Essas medidas são práticas institucionais que não envolvem instalações permanentes e costumam trabalhar na mudança de comportamento por meio de regulamentações do governo, persuasões ou instrumentos econômicos (TAYLOR; WONG, 2002).

Entretanto, Melo (2007) destaca que a implantação exclusiva de medidas não-estruturais em áreas já urbanizadas e degradadas não garante proteção completa contra problemas como enchentes e alagamentos. Logo, em conjunto com essas características se faz necessária a implantação de obras hidráulicas de controle.

2.2.3 Medidas estruturais

As medidas estruturais envolvem modificações nas características do sistema natural de drenagem por meio de obras de engenharia. Essas são medidas de controle de enchentes e inundações e comumente se constituem de elementos com represas, reservatórios de retenção, canais artificiais e barragens (MACHADO; POLEZA, 2017).

Kawatoko (2012, p. 11) destaca que existem vários dispositivos que são classificados como medidas estruturais:

De maneira geral, existe uma gama imensa de dispositivos destinados a aumentar a capacidade de infiltração ou armazenar água, podendo-se destacar os valos de infiltração, as trincheiras de infiltração, os reservatórios de detenção, os pisos impermeáveis, as bacias de percolação, os telhados verdes, as cisternas, entre outros.

A inclusão das medidas estruturais minimiza os impactos a jusante, permitindo maior infiltração da precipitação, e conferindo à bacia condições mais próximas do natural (MENDES et al., 2004). E de acordo com Machado e Poleza (2017, p. 7) “medidas estruturais são de grande importância para a solução de grande parte dos problemas das inundações, porém isoladas não representam soluções eficazes e sustentáveis, sem contar com os altos custos de sua implantação e manutenção”.

A afirmação dos autores se assemelha a de Melo (2007) no subitem anterior, em ambos os casos as medidas quando implantadas isoladamente são vistas por eles como deficientes para resolver os problemas de drenagem das cidades, assim evidencia-se a necessidade de integração dessas medidas.

2.3 REALIDADE DA DRENAGEM URBANA EM PALMAS

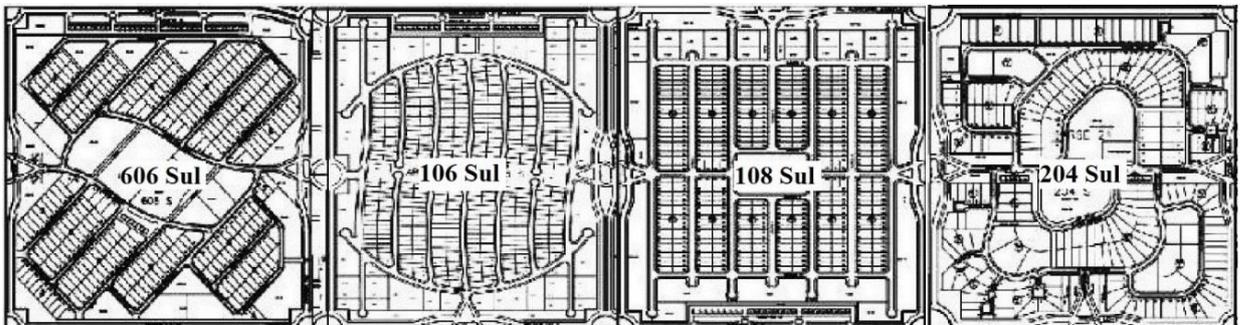
A cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, passou por um processo de urbanização desordenada, com uma expressiva expansão da zona urbana para regiões onde inicialmente não haveria crescimento da cidade. Logo, grande parte do solo da região foi impermeabilizado ocasionando problemas de enchentes e alagamentos durante os períodos chuvosos (PALMAS, 2014b).

O mapa da cidade parece formar uma malha ortogonal, e numa escala mais reduzida as quadras palmenses possuem arquitetura mais livre apresentado variações de uma para outra. A circulação respeita um sistema hierárquico de avenidas principais: as “LO”, avenidas paralelas à Avenida Juscelino Kubitschek, atravessando a cidade no sentido Leste-Oeste e as “NS”, avenidas paralelas à Avenida Teotônio Segurado, cortando a cidade no sentido Norte-Sul. As duas principais avenidas da capital são a Avenida Teotônio Segurado e a Avenida JK, ambas dividindo a cidade e convergindo para o Palácio do Araguaia. Dentro das quadras a circulação se dá pelas alamedas, ruas em grande parte arborizadas e com faixas largas (SILVA, 2010).

Ao analisar a arquitetura da capital é possível notar maior preocupação com os aspectos estéticos do que com os funcionais. É possível perceber as consequências dessa preocupação estética também em outras esferas como, por exemplo, no trânsito e na drenagem (SILVA, 2010; MOURA, 2011).

A atenuada preocupação estética é percebida por meio da Figura 5 que apresenta a arquitetura de algumas quadras do Plano Diretor Sul da cidade. É notável que em algumas delas, apesar do interessante apelo estético, o aspecto funcional é um pouco prejudicado.

Figura 5. Arquitetura das quadras do Plano Diretor Sul



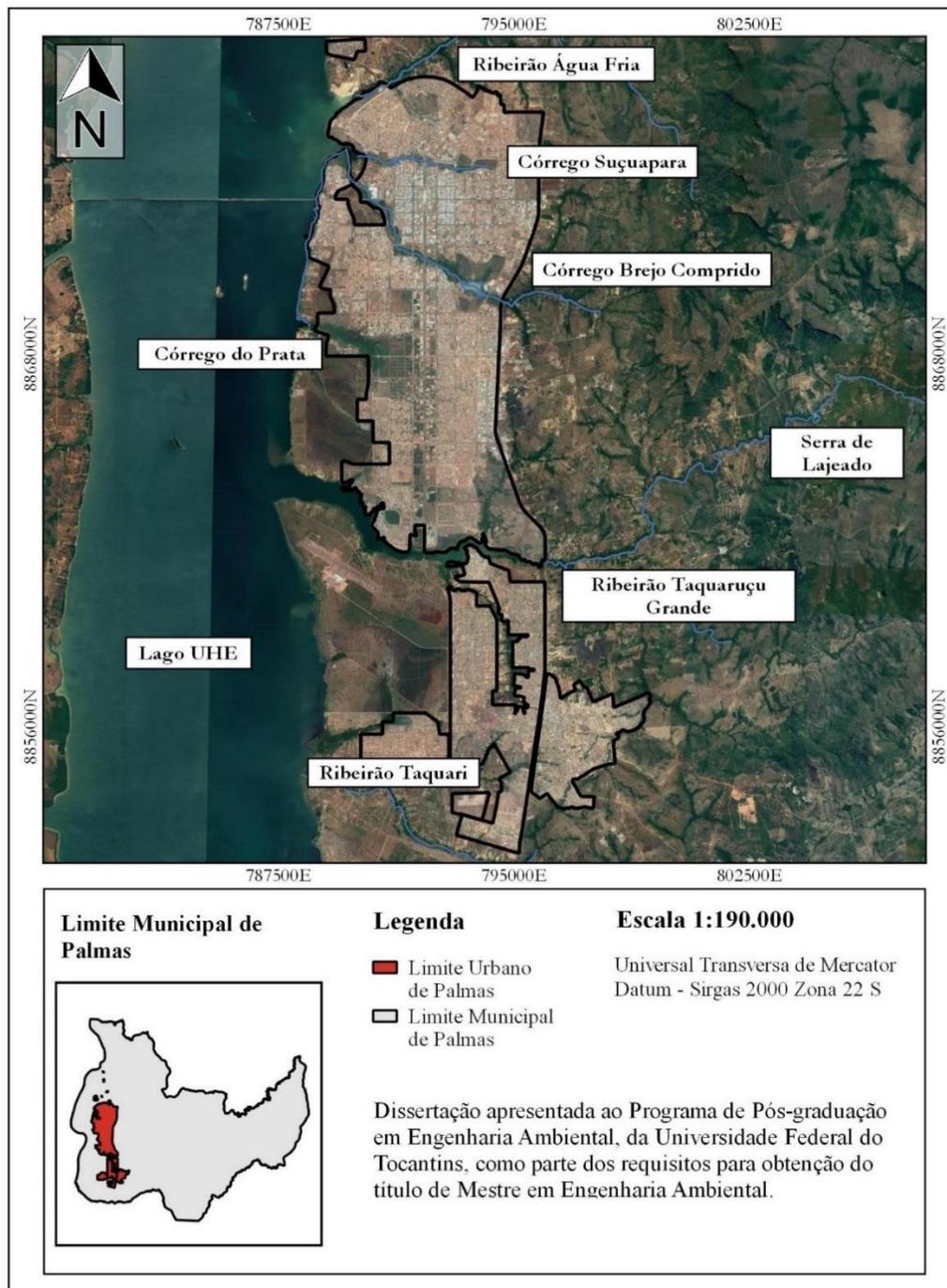
Fonte: Carvalhêdo, 2011.

A capital tocantinense conta com um relativo número de cursos d'água em seu espaço urbano e que compõem o seu sistema de drenagem. Grande parte destes cursos d'água possui

sua nascente na Serra do Lajeado. Não obstante, os cursos d'água que drenam especificamente a zona urbana do município são afluentes diretos ao rio Tocantins: Córrego Água Fria, Córrego Suçuapara, Córrego Brejo Comprido, Córrego Do Prata, Ribeirão Taquaruçu Grande e Ribeirão Taquari (PALMAS, 2014).

Os corpos hídricos que compõem o sistema de drenagem urbana de Palmas são apresentados na Figura 6.

Figura 6. Mapa dos principais corpos hídricos que drenam a área urbana de Palmas



A rede de drenagem do município é sobrecarregada pela expansão urbana e quase inteiramente superficial. Os terrenos impermeabilizados dos imóveis construídos lançam suas águas pluviais nas vias de circulação, e o aumento do número de ruas e avenidas asfaltadas, por sua vez, amplia o escoamento superficial, acarretando a sobrecarga da rede de drenagem (PALMAS, 2014).

Diferente do que ocorre com os setores de abastecimento de água e esgoto sanitário de Palmas, a gestão e gerenciamento do setor de drenagem urbana não é de responsabilidade de um órgão ou setor técnico que apresente autonomia administrativa e financeira, sendo assim a competência é dada a Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos através da Superintendência de Obras, o que gera uma certa fragilidade político-institucional no contexto da administração municipal (PALMAS, 2014).

De acordo com Lopes e Souza (2012) os principais problemas enfrentados no município têm a ver com: a deficiência ou a inexistência de macro e de micro drenagem em avenidas e em algumas quadras; as dimensões inadequadas e a falta de limpeza das bocas-de-lobo (BL); as condições de descargas inadequadas de águas pluviais; o lançamento de águas pluviais de imóveis edificados direto sobre vias públicas; e a falta de um plano diretor específico para a drenagem pluvial urbana.

A seguir são apresentados registros fotográficos, realizados no mês de novembro de 2018 pelo autor da dissertação, que comprovam os problemas destacados pelos autores citados acima. As Figuras 7 e 8 apresentam uma adequação implantada no poço de vistoria (PV) da rotatória da Av. NS-4 com a Av. LO-19, a fim de aumentar a sua captação. Contudo, a ausência de manutenção e limpeza compromete o funcionamento do dispositivo de drenagem.

Figura 7. Dispositivo de drenagem sem limpeza



Figura 8. Dispositivo de drenagem sem limpeza



A Figura 9 representa uma outra realidade comum em várias regiões da cidade: vazios urbanos e vias com meios-fios danificados, aumentando o arraste de sedimento para as avenidas. Por consequência destes problemas registrados e dos listados por Lopes e Souza (2012), a cidade possui regiões críticas de alagamento, por exemplo, alguns trechos da Av. NS-4 (Figuras 10, 11 e 12).

Figura 9. Falta de meio-fio originando assoreamento na via de acesso a rotatória



Figura 10. Alagamento na Av. NS-4 próximo a rotatória da Av. LO-25



Figura 11. Alagamento na Av. NS-4 próximo a rotatória da Av. LO-25



Figura 12. Canteiro central em frente a rotatória da Av. NS-4 com a Av. LO-25



Como alternativa para reverter a situação da drenagem urbana do município o Plano Municipal de Saneamento Básico propõe a adoção de medidas compensatórias aliadas as medidas estruturais convencionais nas áreas urbanizadas que podem atuar satisfatoriamente na melhoria das condições de escoamento superficial.

2.3.1 A revisão do Plano Diretor e a Drenagem Urbana Sustentável

No dia 02 de abril de 2018 foi divulgado no suplemento do Diário Oficial N° 1.969 a Lei Complementar (LC) N° 400, que dispõe sobre o novo Plano Diretor Participativo de Palmas. A revisão do Plano Diretor estabeleceu os instrumentos básicos e as estratégias da política de desenvolvimento do Município, aplicável em todo o seu território.

Composta por 307 artigos, a Lei se divide em sete títulos: I) Da Política Municipal de Desenvolvimento; II) Dos Princípios e Objetivos do Plano Diretor; III) Do Ordenamento Territorial; IV) Do Meio Ambiente e das Mudanças Climáticas; V) Das Demais Políticas Setoriais; VI) Dos Instrumentos para Implementação do PD; VII) Das Disposições Gerais e Transitórias.

Evidenciando a necessária integração das políticas de desenvolvimento urbano, saneamento básico e de gestão de recursos hídricos a LC não restringe a drenagem urbana ao saneamento básico, mas sob uma proposta holística e sustentável integra o setor no artigo 126, incisos III e IV, às diretrizes para a gestão dos recursos hídricos.

Segundo a Lei:

Seção V

Da Gestão dos Recursos Hídricos

Art. 126

III - inserir no planejamento urbano e ambiental a implantação de rede de drenagem sustentável, adotando as melhores práticas para o manejo das águas pluviais, compreendendo o transporte, detenção, retenção, absorção e o escoamento, com a construção de bacias de detenção, sempre que necessário;

IV - incentivar a adoção dos sistemas de drenagem sustentável em área urbana em complemento à drenagem artificial, recuperando e ampliando a capacidade de retenção, absorção e infiltração de águas pluviais no solo, como parte das ações de otimização da infraestrutura verde (PALMAS, 2018, p. 19).

Seção IV

Do Manejo de Águas Pluviais

Art. 162 São diretrizes para o manejo de águas pluviais:

[...]

X - incentivar a adoção de implantação de drenagem sustentável nos empreendimentos (PALMAS, 2018, p. 21).

O Plano revisado alia a sustentabilidade a gestão da drenagem do município, em seu artigo 95, inciso XIII, incentiva a adoção dos sistemas de drenagem sustentável em área urbana em complemento à drenagem artificial, a fim de recuperar e ampliar a capacidade de retenção, absorção e infiltração de águas pluviais no solo, como parte das ações de otimização da infraestrutura verde.

E postas em uma subseção única, nos artigos 164, 165 e 166 são estabelecidas as diretrizes a serem implantadas em Palmas no tocante a Drenagem Sustentável. A Lei determina que o sistema de drenagem da cidade deve incorporar em sua concepção e execução os princípios e diretrizes da Drenagem Urbana Sustentável, por meio da adoção de técnicas e projetos de amortecimento das vazões de ponta e retenção da água pluvial visando controlar o escoamento superficial (PALMAS, 2018).

2.4 DESENVOLVIMENTO URBANO DE BAIXO IMPACTO

Os itens anteriores dissertaram, dentre outros assuntos, sobre os projetos tradicionais de drenagem e seu princípio baseado no afastamento rápido das águas pluviais, e sobre a realidade da drenagem fundamentada nesses modelos nos quais os problemas oriundos da urbanização não são resolvidos ou mitigados, mas transferidos para regiões à jusante. Assim, o propósito deste item é apresentar os modelos de drenagem que surgiram sob uma visão integrada do desenvolvimento urbano e da sustentabilidade, nos quais as prioridades passaram a ser a implantação de medidas que recuperam e preservam a qualidade ambiental do ecossistema modificado pela urbanização.

Segundo Souza, Cruz e Tucci (2012) foi no final da década de 90 que os sistemas naturais de drenagem, o próprio solo da bacia e a vegetação, passaram a ser integrados nos projetos de controle de águas pluviais. Os sistemas que mais evoluíram nessa abordagem foram: o modelo americano de *Low Impact Development* (LID), reconhecido no Brasil como Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, o modelo australiano de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) e o modelo britânico de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS), os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável, entretanto para Woods-Ballard et al. (2007) são terminologias diferentes que expressam a mesma ideia.

Deste modo, nesta dissertação essas estratégias de desenvolvimento urbano, nas quais a sustentabilidade é abordada de forma holística, serão reconhecidas como técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, ou LID.

Fundamentalmente esses sistemas compreendem um conjunto de técnicas sustentáveis de controle e gestão das águas pluviais que surgiu como alternativa ao sistema tradicional de drenagem das águas pluviais das áreas urbanas, concebidos para gerenciar os riscos ambientais do escoamento urbano e contribuir para a melhoria do ambiente urbano (LOURENÇO, 2014).

Miguez e Magalhaes (2010) corroboram que esse conceito de drenagem estabelece a implantação de sistemas que minimizem os impactos que a urbanização causou nos padrões

naturais de escoamento, visando alcançar objetivos que envolvem esferas técnicas, sociais, econômicas e políticas.

Os sistemas de drenagem urbana concebidos sob esse ideal são o inverso do modelo tradicionalista sendo regidos pela integração do urbano ao nativo. O objetivo destes modelos não é transportar a água para longe, mas retê-la no local e beneficiar processos secundários como, por exemplo, a recarga dos aquíferos por infiltração e a diminuição da velocidade de escoamento até o corpo receptor. Além disso, essas medidas tendem a recuperar os ecossistemas proporcionando habitats de vida selvagem e contribuindo para a biodiversidade (LOURENÇO, 2014). Almeida (2014, p. 21) apresenta opinião semelhante onde a estrutura da LID está na contramão dos sistemas tradicionais, segundo a autora:

Ao contrário do sistema clássico de drenagem, o LID tem uma abordagem descentralizada dos fluxos, com gerenciamento do escoamento o mais próximo do local onde este se origina. Para tanto, utiliza estratégias de gestão focadas na recuperação das funções do ciclo hidrológico natural, com a finalidade de proteger o recurso natural e requerimentos regulamentários ambientais do local.

Souza, Cruz e Tucci (2012) procuraram sintetizar os princípios estruturantes da LID em cinco categorias, o Quadro 3 apresenta esses princípios e seus respectivos objetivos.

Quadro 3. Princípios que estruturam a LID

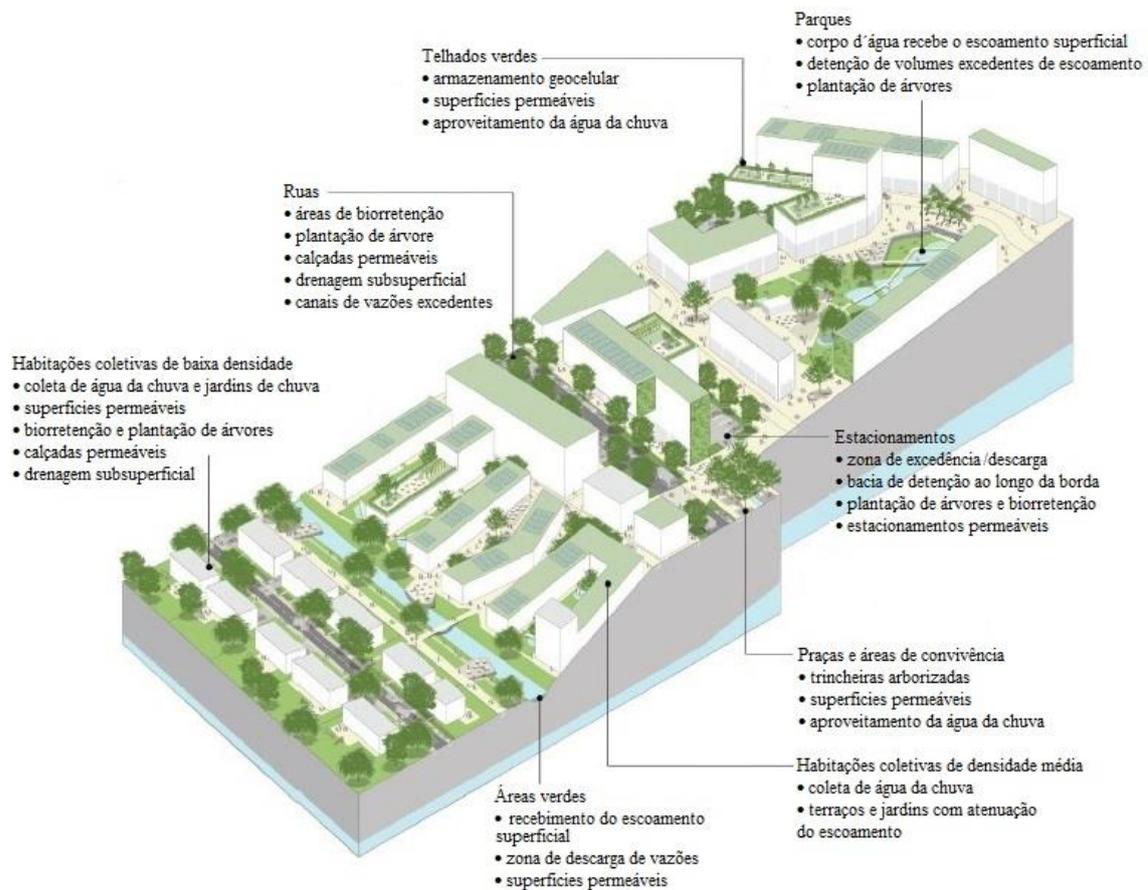
Princípio	Objetivo
Conservação	Preservação de vegetação e solo nativos, minimizando o emprego de áreas impermeáveis e permitindo a manutenção de caminhos naturais de drenagem;
Projetos locais únicos	Elaboração de projetos que respeitem peculiaridades locais naturais e assegurem a proteção de toda a bacia, em detrimento a padronizações;
Direcionar escoamento para áreas vegetadas	Encorajar infiltração e recarga de aquíferos, terras úmidas e riachos, aproveitando controle e tratamento realizados naturalmente;
Controles distribuídos de pequena-escala	Empregar técnicas de manejo hídrico o mais próximo possível da fonte de geração de excedente de escoamento, de forma integrada ao ambiente, para mimetizar processos hidrológicos naturais;
Manutenção, prevenção à poluição e educação	Trabalhar a educação e envolvimento público (inclusive de profissionais) objetivando a redução de cargas de poluentes e o aumento da eficiência e longevidade de sistemas de drenagem, exonerando o poder público.

Fonte: Souza, Cruz e Tucci, 2012.

Segundo Almeida (2014, p. 20), as LID permitem “atingir paisagens hidrológicas funcionais, com comportamento mais similar ao natural, por controlar não somente o pico de vazões, mas volume, frequência/duração além da qualidade dos escoamentos pluviais”. Deste modo, a drenagem quando incorporada à sustentabilidade se torna uma alternativa de gestão de águas pluviais que ao mesmo tempo possibilita a criação de ambientes verdes no meio urbano (VASCO, 2016).

A possibilidade de tornar o ambiente urbano mais verde, ou seja, mais próximo ao natural, explorando as potencialidades e peculiaridades características do ambiente como ferramenta de planejamento é extremamente atraente e positiva. A Figura 13 ilustra as possibilidades decorrentes da implantação de técnicas de LID no ambiente urbano.

Figura 13. Bacia hidrográfica com uso de técnicas de LID



Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., 2015.

Zanandrea (2016, p. 25) destaca que as técnicas de LID estruturam o planejamento de empreendimentos e de espaços urbanos assegurando a conservação de processos hidrológicos e de recursos naturais nas bacias, configurando-se:

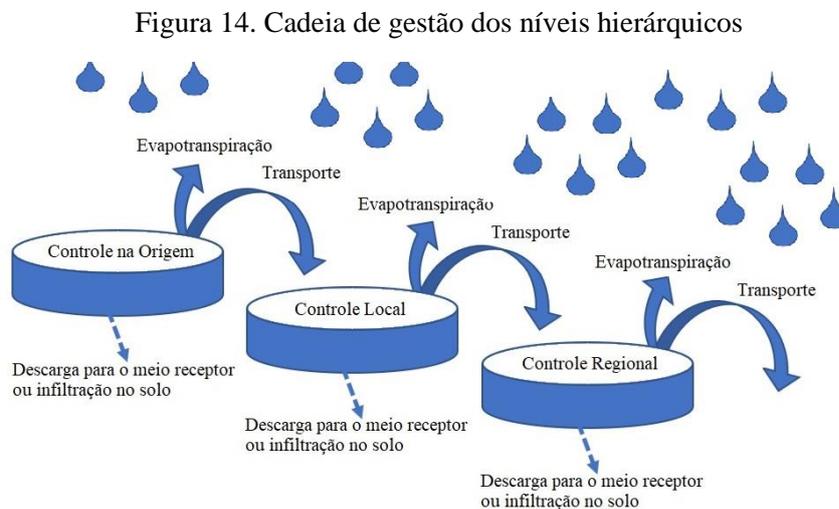
[...] como um eficiente método para aproximar a drenagem urbana ao desenvolvimento sustentável, considerando que sua implementação pode ser compatível com o sistema existente, além de providenciar melhorias, no caso de reformulações pelo redirecionamento de águas pluviais para seu aproveitamento, infiltração e evaporação, mitigando os impactos provenientes da urbanização desordenada.

Portanto, a LID não envolve apenas o projeto e implantação de redes de drenagem urbana, mas se trata de uma gestão mais holística das águas pluviais. Nesse sentido, seu desenvolvimento parte de um conjunto de estratégias de projeto idealizadas no planejamento multidisciplinar. A cadeia de gestão da LID compõe um conjunto de medidas inter-relacionadas, conhecidas como Práticas de Gestão Integradas (PGI), por meio das quais o controle das águas pluviais é aplicado em diferentes níveis técnicos (ALMEIDA, 2014).

2.4.1 Cadeia de Gestão da LID

Lourenço (2014) caracteriza essa cadeia de gestão em níveis técnicos ou níveis hierárquicos, nos quais a drenagem urbana é dividida em unidades individuais que operam em série, permitindo reduzir a poluição e controlar os escoamentos pluviais. Cada nível hierárquico é um elo da cadeia de gestão e reduz o volume de escoamento superficial conduzido ao próximo nível, conforme ilustra a Figura 14.

Esta cadeia de gestão utiliza a seguinte hierarquia de técnicas: controle na origem, que ocorre junto do local de origem das águas pluviais e nas imediações; controle local, no conjunto de uma área envolvendo vários lotes ou grandes parques de estacionamento, e o controle regional, no conjunto de vários locais, tipicamente através de bacias de retenção.



Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., 2015.

Nota-se que os níveis técnicos superiores têm preferência sobre o subsequente, de modo que, o controle na origem deve ser considerado antes do controle local e este, por sua vez, antes do controle regional, mas que o funcionamento esperado envolve o planejamento em todos os níveis (LOURENÇO, 2014).

Souza, Cruz e Tucci (2012, p. 12) apontam que o planejamento da LID “realiza-se em âmbito de bacia, considerando informações atuais de topografia, solo, hidrologia, vegetação e habitat, zoneamento e uso do solo, vias de acesso à área em estudo e proximidade a serviços”. E Almeida (2014) corrobora que a gestão da LID ocorre pela implantação de técnicas de controle na fonte, integradas às edificações, à infraestrutura e ao paisagismo das cidades.

2.4.2 Dispositivos de controle e gestão integrada da drenagem urbana

Os dispositivos de controle desenvolvidos sob o conceito da LID se baseiam nos princípios de retenção e infiltração das águas precipitadas, a fim de restabelecer as vazões de pré-desenvolvimento, por meio do controle na fonte (ALMEIDA, 2014). A gestão integrada da drenagem urbana é um atributo ainda recente, as perspectivas a longo prazo quanto ao aproveitamento de recursos e do equilíbrio entre a urbanização, entendida aqui como o aumento das demandas por recursos, e a capacidade de atendimento dessas demandas fazem parte desse conceito construído sobre a ideia de desenvolvimento urbano e sustentabilidade.

As alternativas sustentáveis voltadas ao controle de problemas na fonte, ao contrário da postura convencional de ampliar as capacidades estruturais de tratamento dos efeitos, as medidas corretivas e compensatórias, constituem elementos de gestão integrada cada vez mais empregados nas regiões urbanas (SILVA; PORTO, 2003).

Assim as *Integrated Management Practices* (IMP), práticas de gestão integradas, são ferramentas que fazem parte da gestão das águas pluviais nos sistemas de drenagem LID, promovendo o tratamento da qualidade e quantidade das águas. O diferencial da implantação desta ferramenta é a harmonização de várias funções do sistema de drenagem em ambiente comum, provendo uma integração paisagística aliada ao aproveitamento e incentivo ao uso de dispositivos que possuam características ecoeficientes, capazes de: interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar água, nutrientes e sedimentos. Em geral esses dispositivos são caracterizados pelo emprego de vegetação como, por exemplo, os pavimentos permeáveis e os telhados verdes (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

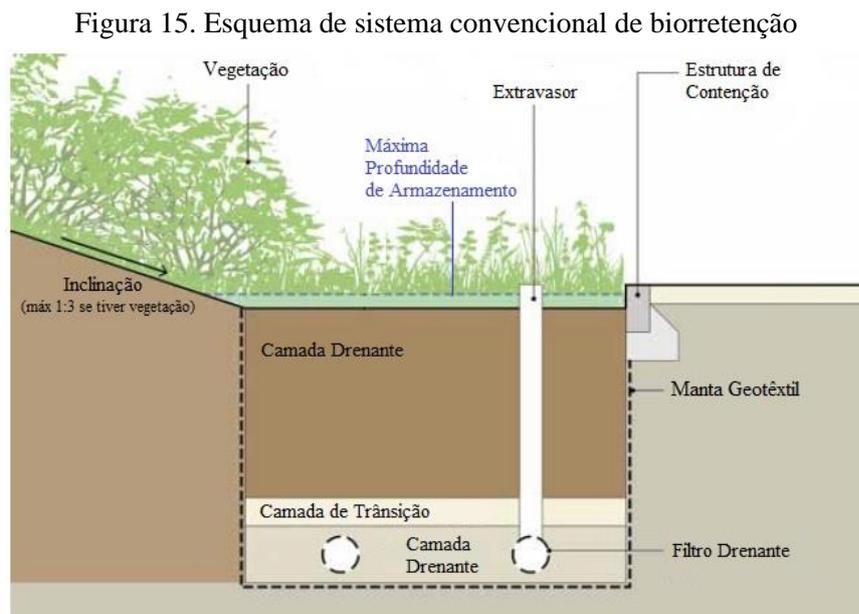
Existem diversas técnicas de LID já desenvolvidas e que contam com pesquisas explorando suas vantagens e eficiência, a nível de exemplo: as bacias de retenção e os trabalhos

de Bichana (2006) e Pereira (2017), os telhados verdes e os estudos de Alamy Filho et al. (2016) e Zanella e Bernardi (2014), os pavimentos permeaveis e os estudos de Araujo, Tucci e Goldenfum (2000) e Acioli (2005). Todavia, a seção a seguir destina-se ao detalhamento das tecnicas de LID que efetivamente foram empregadas nas simulações desta dissertação.

2.4.2.1 Celulas de biorretenção

Os sistemas de biorretenção são elementos de drenagem LID em que áreas são escavadas e posteriormente preenchidas com mistura de solo de alta permeabilidade e material orgânico. Esses elementos aumentam a infiltração de água no solo e o aumento de vegetação, conseqüentemente as guas que escoam nesse sistema passam por processos biológicos e químicos de tratamento, tanto das plantas quanto dos micro-organismos e do solo compõem o sistema (TROWSDALE; SIMCOCK, 2011).

Essa técnica tende a espelhar as condições hidrológicas naturais da bacia associadas ao tratamento das guas e ao controle de volumes escoados superficialmente. Os sistemas, por si só, não são capazes de controlar inteiramente a qualidade e quantidade, mas potencializam os valores para que se tornem positivos (MELO, 2011). A Figura 15 apresenta um esquema usual de sistema de biorretenção proposto no Manual de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (*The SuDS Manual*).



Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., 2015.

Melo (2011) aponta que esses dispositivos podem ser implantados em vários locais, uma vez que se integram ao ambiente de modo harmônico por meio de suas propostas de design e pela cobertura vegetal que pode ser diversificada e adaptável às condições de qualquer localidade. O autor ainda destaca que os sistemas de biorretenção possuem diversas vantagens, entre elas: o manejo das águas no lote, o controle do escoamento, a remoção de poluentes, a mitigação das ilhas de calor e a vasta aplicabilidade e boa aceitação pela população.

Quanto ao dimensionamento de células de biorretenção Woods-Ballard et al. (2015) recomenda que a área máxima do dispositivo não seja superior a 800 m² e que as suas dimensões não ultrapassem uma largura máxima de 40 m. O autor ainda recomenda que as células de biorretenção possuam até 4% do tamanho da área impermeável a ser drenada.

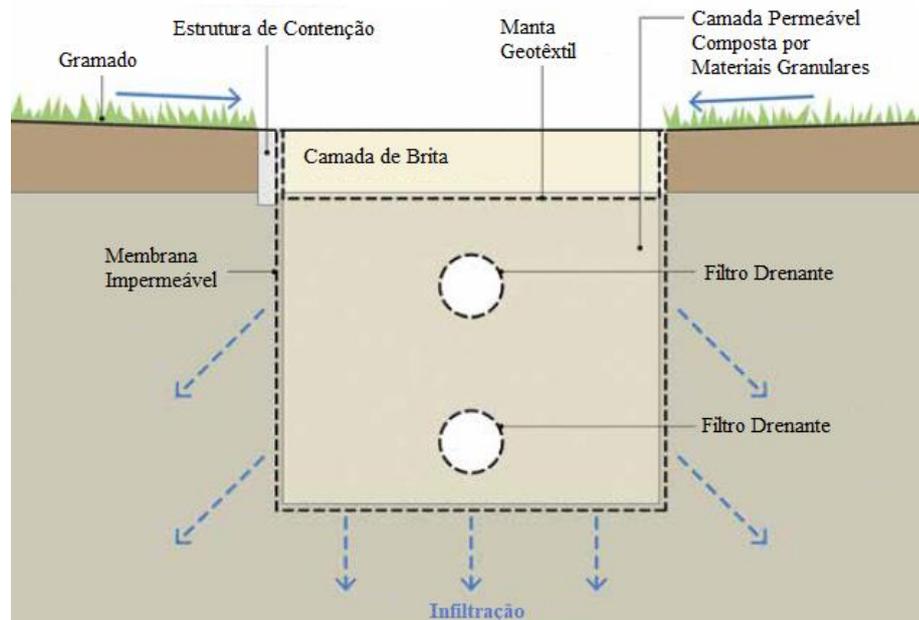
Davis (2008) também faz algumas recomendações quanto a área de drenagem desses dispositivos, de acordo com esse autor a área máxima recomendada a ser drenada por célula não deve ser superior a 8000 m².

2.4.2.2 *Trincheiras de infiltração*

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares, com a finalidade de captar, armazenar e infiltrar uma parcela do escoamento superficial gerado numa determinada região. Quando as trincheiras de infiltração funcionam o volume de escoamento que chega às galerias é reduzido, retardando os picos de cheias. A sua estrutura é basicamente constituída por valas escavadas no solo e preenchidas por materiais de diferentes granulometrias, no qual os materiais granulares são depositados sob uma manta geotêxtil, responsável por impedir a entrada de finos no dispositivo (DANIEL JÚNIOR, 2013).

A Figura 16 apresenta um corte esquemático de uma trincheira de infiltração

Figura 16. Esquema de uma trincheira de infiltração



Fonte: Adaptado de Woods-Ballard, et al., 2015.

Um cuidado especial que esse sistema requer é o pré-tratamento das águas pluviais antes da infiltração nos meios permeáveis da trincheira, para a remoção das partículas maiores, evitando assim, a possível colmatção do dispositivo. Esse tratamento prévio é basicamente a implantação de medidas de filtração nas imediações e camadas superiores da trincheira, podendo ser composto pela combinação de áreas gramadas e camadas de areia (DANIEL JÚNIOR, 2013).

Melo (2011) complementa apontando que diante da possibilidade de a região seja passível de poluição e contaminantes em excesso como, por exemplo em consequência da proximidade de área industriais, pode-se adicionar à estrutura, uma camada de areia abaixo do material granular, reforçando a segurança das águas subterrâneas e do solo. Além disso, a autora destaca que os países desenvolvidos utilizam as trincheiras de infiltração, dentre tantos motivos, justamente, pela eficiência na remoção de poluentes.

O dimensionamento das trincheiras de infiltração difere de outros dispositivos LID no que diz respeito a capacidade de armazenamento de volumes esperados. Diferente das células de biorretenção, por exemplo, as trincheiras são em geral dimensionadas para receber volumes de chuva de altos períodos de retorno, ou seja, eventos com intensidades elevadas. Por conta disso, são dispositivos excelentes para compor o sistema de drenagem urbana em canteiros centrais e laterais de avenidas e rodovias (WOODS-BALLARD et al., 2015).

2.5 MODELAGEM E A CRIAÇÃO DE CENÁRIOS

A utilização de modelos para compreender melhor a dinâmica do ciclo da água nas bacias hidrográficas urbanizadas e obter simulações de possíveis cenários futuros é uma prática cada vez mais recomendada. A modelagem hidrológica não é apenas um conjunto de equações matemáticas convenientemente organizadas, mas uma representação da realidade baseada nas ciências físicas. Além disso, o modelo a ser desenvolvido depende do pesquisador e das questões que ele procura responder (COELHO, 2010).

De acordo com Roy (1985 apud COELHO, 2010, p. 31) o termo “modelo” segundo sua definição “é um esquema que, por uma série de questões, é considerado como a representação de uma classe de fenômenos, classificados como mais ou menos relevantes por um observador para servir para a investigação e/ou para a informação”. Para Tucci (1998) os modelos hidrológicos são ferramentas que fornecem representações da dinâmica da bacia hidrográfica, e que permitem prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

A modelagem hidrológica possibilita uma compreensão mais clara dos fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, por meio das representações e resultados. Além disso, esses modelos dão margem para realização de previsões sobre o comportamento da bacia sob condições diversas (LIMA, 2011 apud MARINHO FILHO et al., 2012). As análises provenientes dos modelos matemáticos possibilitam o desenvolvimento de planos e intervenções necessárias na bacia conhecendo os pontos críticos sujeitos a inundações e verificando a capacidade das estruturas hidráulicas (COELHO, 2010).

Os modelos podem ser classificados por meio de diferentes aspectos, mas é comum que essa classificação ocorra tomando por base o tipo de variável que é utilizada durante a modelagem, a relação dessas variáveis, no tipo de representação de dados, a não de relações espaciais e a condicionante temporal (RENNÓ; SOARES, 2000).

Com o início da utilização dos computadores, por volta dos anos de 1960 foram desenvolvidos os primeiros modelos hidrológicos computacionais. Desde o lançamento dos primeiros modelos diversos outros foram desenvolvidos e evoluíram acompanhando a proposta de simular a ocorrência da água nas diversas fases do ciclo hidrológico. Assim a distinção de modelo para modelo varia de acordo com fatores como número de parâmetros exigidos como dados de entrada, conceitos utilizados e simplificações adotadas (COLLODEL, 2009; SHINMA, 2011).

Atualmente estão à disposição dos profissionais da área de recursos hídricos uma grande gama de modelos hidrológicos, dentre os quais destacam-se: o *Storm Water Management Model* (SWMM), série IPH, série HEC, MOUSE, SMAP, ILLUDAS, etc. (SHINMA, 2011). Além dos modelos acima citados, diversos trabalhos realizados no Brasil apresentam exemplos de modelos hidrológicos que apresentaram resultados relevantes, por exemplo, utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

O SWMM, do conjunto de programas utilizados para simulações de drenagem urbana, recebe destaque. Righetto et al. (2009), aponta que o SWMM era o programa mais utilizados para esse fim na última década. Um número expressivo de trabalhos sobre o comportamento do escoamento e outros parâmetros hidrológicos em bacias urbanizadas se utilizou do SWMM para suas simulações: Tominaga (2013), Silva et al. (2017), Souza, Crispim e Formiga (2012), Babaei, Ghazavi e Erfanian (2018), Waikar e Undegaonkar (2015). Destaca-se também a dissertação desenvolvida por Mendes (2018) intitulado as “diretrizes ao planejamento urbano da bacia do Córrego Suçuapara (Palmas-TO) com base em sua resposta hidrológico-hidráulica à diferentes cenários de ocupação”.

Cabe ressaltar ainda que, segundo Tominaga (2013) e Mendes (2018) o SWMM possui atribuições que permitem simular a implantação de medidas não convencionais de drenagem, um dos importantes motivos que suscitou a escolha do programa para as simulações desta dissertação. Diante dessa possibilidade diversos autores já simularam no SWMM a eficiência de implantação de técnicas LID, a nível de exemplo se pode citar os recentes e relevantes trabalhos desenvolvidos por: Feitosa (2015), Gurgel (2016), Ferreira (2017) e Martins (2017).

O tópico a seguir tem por finalidade apresentar o SWMM, suas funcionalidades e os parâmetros principais que terão relações com as modelagens propostas nos objetivos deste trabalho.

2.5.1 *Storm Water Management Model* (SWMM)

O SWMM, da *Environment Protection Agency* (EPA), em tradução livre Agência Ambiental Americana, é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a dinâmica do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. Esse modelo pode ser utilizado para simulações de eventos chuvosos isolados ou para simulações contínuas de longo prazo (ROSSMAN, 2010).

Rossman (2010, p. 14) destaca que o programa considera distintos processos hidrológicos que produzem escoamentos procedentes de áreas urbanas. Entre estes se encontram: precipitações variáveis no tempo e evaporação de águas empoçadas; acumulação e degelo da neve; interceptação de precipitações por armazenamento em depressões; infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas; percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos; troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem; modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares; e captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

2.5.2 Equações governantes do SWMM

As simulações do programa dão origem a hidrogramas resultantes a partir de dados de entrada, permitindo determinar os volumes de escoamento gerados em diferentes sub-bacias, as vazões, profundidade do fluxo, a qualidade da água nos canais, outros processos do ciclo hidrológico: precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial nas vertentes, na rede de drenagem e em canais, evapotranspiração, infiltração, interceptação e armazenamento em depressões (SOUZA; CRISPIM; FORMIGA, 2012).

O método de cálculo do SWMM considera que cada sub-bacia funciona com um reservatório não linear de largura W e capacidade d_p , e leva em consideração as perdas da água precipitada antes do escoamento superficial. O programa interpreta que a sub-bacia funciona como uma superfície retangular que tem uma inclinação uniforme S e uma largura W que faz convergir todo o fluxo para um único canal de saída. O escoamento superficial ocorre quando o total precipitado excede a capacidade d_p , e a formulação para a determinação da profundidade de água acumulada na sub-bacia é uma combinação da equação de Manning com a equação da continuidade que resulta, quando solucionada pelo processo iterativo de Newton Raphson, na Equação 1 (FEITOSA, 2015; FERREIRA, 2017).

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Onde:

W : largura representativa da sub-bacia (m);

n : coeficiente de rugosidade de Manning (m^3/s);

d_p : altura de armazenamento por depressão em metros;

d: profundidade da água no reservatório (m); e
S: declividade (m/m).

A infiltração pode ser determinada no SWMM por meio dos modelos de Green-Ampt, Horton e pelo método da Curva Número. O método de Horton se baseia em observações empíricas onde a infiltração decresce exponencialmente de um valor máximo inicial até um valor mínimo durante um evento de chuva, e é regido pela Equação 2:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kft} \quad (2)$$

Onde:

f: capacidade de infiltração no tempo (m/s);

f_c : capacidade mínima de infiltração (m/s);

f_0 : capacidade de infiltração inicial (m/s);

t: tempo decorrido desde a saturação superficial do solo (s); e

kf: coeficiente experimental de caída exponencial.

O método de Green-Ampt, foi inicialmente proposto em 1911 e se baseia na Lei de Darcy, onde considera-se o solo homogêneo, com teor de umidade inicial que permanece constante (FEITOSA, 2015). A equação de Green e Ampt é apresentada na Equação 3.

$$f = k \left(\frac{h + L_u - \phi_m}{L_u} \right) \quad (3)$$

Onde:

f: capacidade de infiltração em metros por segundo;

K: coeficiente e permeabilidade em metros por segundo;

ϕ_m : potencial matricial da frente de molhamento em metros;

h: carga hidráulica em metros;

L_u : distância entre a superfície e a frente de umidade em metros.

O método Curva Número, trata-se de uma aproximação do método *Soil Conservation Service (SCS)* do *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, onde assume-se que a capacidade de infiltração total pode ser estimada com o CN tabelado (FEITOSA, 2015).

No que diz respeito a propagação ao longo do canal, o modelo é regido pelas as equações de Saint Venant, representadas em duas equações: equação da continuidade com contribuição lateral (Equação 4) e a equação da variação da quantidade de movimento (Equação 5). Essas equações quais podem ser expressas da seguinte forma para o fluxo ao longo de um único canal (FERREIRA, 2017; MARTINS, 2017):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{Equação da Continuidade (4)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = gAS_f - gAh_l \quad \text{Equação da Quantidade de Movimento (5)}$$

Onde:

H: energia total do escoamento (m);

A: área da seção molhada (m²);

Q: vazão (m³/s);

x: distância no sentido longitudinal (m);

t: tempo (s);

g: aceleração da gravidade (m/s²);

S_f: declividade do canal (m/m); e

h_l: declividade ao longo da linha de energia (m/m).

Martins (2017) ainda salienta que o usuário do programa possui três diferentes níveis de sofisticação para a resolução de suas equações estruturantes, cabendo ao usuário escolher qual utilizar.

Os três métodos possíveis são: 1) o método do Fluxo Constante, que assume que dentre de cada passo de tempo o fluxo é constante e uniforme, o que apenas propaga o hidrograma de montante a jusante sem alteração de forma ou velocidade de propagação; 2) o método da Onda Cinemática, que translada o hidrograma considerando atrasos na propagação e atenuação de seu pico a medida que o tempo passa; 3) o método da Onda Dinâmica, método mais completo que faz a translação do hidrograma, considera a atenuação de seu pico e ainda os fenômenos de remanso e aceleração de fluxo.

2.5.3 Aplicações do SWMM

Dentre as diversas aplicações dos modelos aplicáveis a drenagem urbana destaca-se diante dos objetivos desta dissertação a possibilidade de simular e analisar o comportamento do escoamento em dispositivos de baixo impacto, ou seja, em dispositivos baseados no conceito de LID. Rossman (2010) ainda destaca que o SWMM possibilita a avaliação da eficácia das Boas Práticas de Manejo (BPMs) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

De acordo com Gomes et al., (2012) o SWMM realiza as modelagens hidrológicas por meio do comportamento de um sistema de drenagem através de uma série de fluxos de água e matéria entre os principais módulos descritores do ambiente. Collodel (2009) denomina esses módulos como blocos, e aponta que cada bloco pode ser simulado separadamente.

Sobre os módulos, Mendes (2018) destaca que cada um deles é composto por um ou mais objetos físicos, representações gráficas, para processar as entradas e saídas de água no sistema. Os objetos físicos, ou seja, aqueles que são visíveis durante a operação dos módulos podem ser organizados para formar um sistema de drenagem de águas pluviais.

Quadro 4. Módulos e Objetos físicos constituintes do SWMM

Módulo	Descrição	Objeto Físico
Atmosférico	Ocorre precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo.	Pluviômetro
Superfície do Solo	Recebe a precipitação do módulo Atmosférico sob a forma de chuva ou neve; exporta o fluxo de água por meio da infiltração para o módulo de Águas Subterrâneas e, também, por meio de escoamento superficial e carreamento de poluentes para o módulo de Transporte.	Sub-bacias
Águas Subterrâneas	Recebe a infiltração do módulo de Superfície do Solo e transfere uma parte dela, como fluxo de entrada, para o módulo de Transporte.	Aquíferos
Transporte	Contém uma rede com elementos de transporte e unidades de armazenamento e tratamento, que transportam a água para os nós exutório ou para as estações de tratamento usuário.	Nós e Trechos

Fonte: Rossman, 2010.

Os objetos de controle LID tem por premissa subtrair parte do escoamento superficial por meio de processos artificiais combinados de retenção, infiltração e evapotranspiração. No SWMM esses objetos fazem parte de uma sub-bacia. O SWMM pode modelar especificamente cinco tipos de dispositivos (ROSSMAN, 2010, p. 69): bacias de filtração, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, cisternas e vales de infiltração sem drenos.

Diante das diversas possibilidades de simulação que o SWMM permite ao usuário a mais importante, para esta dissertação, é a implantação de medidas não convencionais de drenagem urbana.

Conforme menciona Mendes (2018) o programa realiza superposições de camadas vetoriais, nas quais cada camada possui características homogêneas. As camadas são representadas por unidade de áreas, sendo assim possível a aplicação em mais de uma sub-bacia.

As camadas vetoriais que são manipuladas para a simulação de técnicas de LID são: superficial, pavimento, solo, armazenamento e dreno profundo. O autor ainda sintetiza em sua dissertação as técnicas LID e as camadas utilizadas na sua representação pelo SWMM, a Tabela 4 apresenta as técnicas possíveis de serem implantadas.

Tabela 4. Técnicas LID e camadas utilizadas na sua representação pelo SWMM

Técnica LID	Superfície	Pavimento	Solo	Armazenamento	Dreno Profundo
Bacia de Infiltração	x	-	x	x	x
Pavimento Poroso	x	x	-	x	x
Trincheira de Infiltração	x	-	-	x	x
Cisterna	-	-	-	x	x
Vala de Infiltração	x	-	-	-	x

Fonte: Mendes (2018 apud ROSSMAN, 2015).

É possível introduzir os dispositivos de baixo impacto, de duas maneiras pelo SWMM: colocar um ou mais controles em uma sub-bacia, ou criar uma sub-bacia exclusivamente para um controle. Da primeira maneira é possível alocar diversos tipos de dispositivos LID, nos quais seu controle será ligado a uma determinada sub-bacia, cada dispositivo interferindo no escoamento da porção não controlada da sub-bacia. Os controles trabalham em paralelo, não podem atuar em série, ou seja, a saída de um dispositivo não pode servir como entrada para outro. A segunda maneira é criar sub-bacias exclusivas para cada dispositivo (ROSSMAN, 2010).

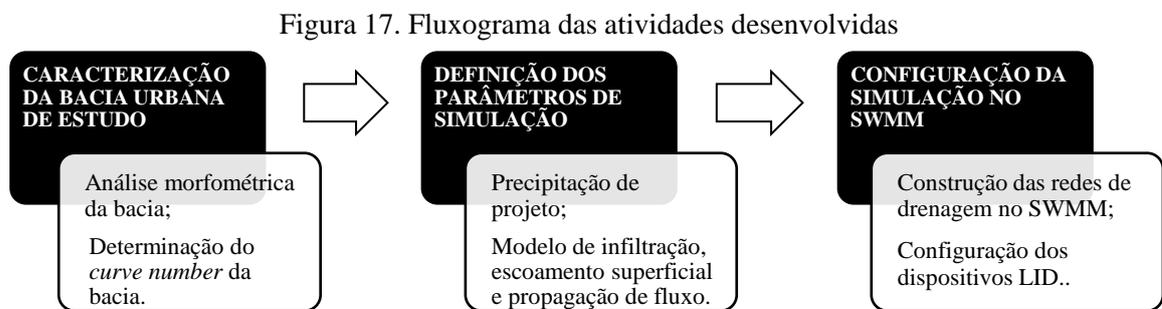
Este item apresentou as tantas possibilidades de simulação que o SWMM é capaz de realizar e, se não bastasse seu uso e aceitabilidade no meio científico, outras funcionalidades comporiam uma excelente justificativa para a sua escolha como modelo hidráulico-hidrológico desta dissertação, podendo ser destacadas: a) ser uma ferramenta gratuita com versão em português, tanto do programa como do Manual do Usuário; b) ser compatível com diversos sistemas operacionais; e, a mais importante e já mencionada acima, c) realizar as simulações de medidas não convencionais aplicadas aos sistemas de drenagem.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento proposto pelo desenvolvimento de baixo impacto envolve transformações profundas nos sistemas de drenagem, entendidos aqui como toda a estrutura necessária para o manejo das águas pluviais não apenas como os dispositivos de captação e transporte das águas. Para que mudanças mais eficientes ocorressem, seria necessário trabalhar e repensar aspectos legais, administrativos, de ocupação, planejamento e, finalmente, de infraestrutura (dispositivos de drenagem). Embora o ideal seja que todos esses aspectos fossem considerados, é inviável que uma única pesquisa envolva todos eles.

O objetivo principal dessa dissertação envolve simulações na rede de microdrenagem, prevendo a implantação de dispositivos de controle na fonte que tornem o sistema menos impactante na bacia do Córrego Brejo Comprido. A natureza da pesquisa é computacional com uso majoritário dos seguintes programas: SWMM; programas do tipo CAD, desenho assistido por computador; e o QGIS, programa livre com código-fonte aberto, multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica que permite edição e análise de dados georreferenciados.

O detalhamento das atividades desenvolvidas para elaboração do projeto está dividido em três etapas apresentadas na Figura 17, a seguir:



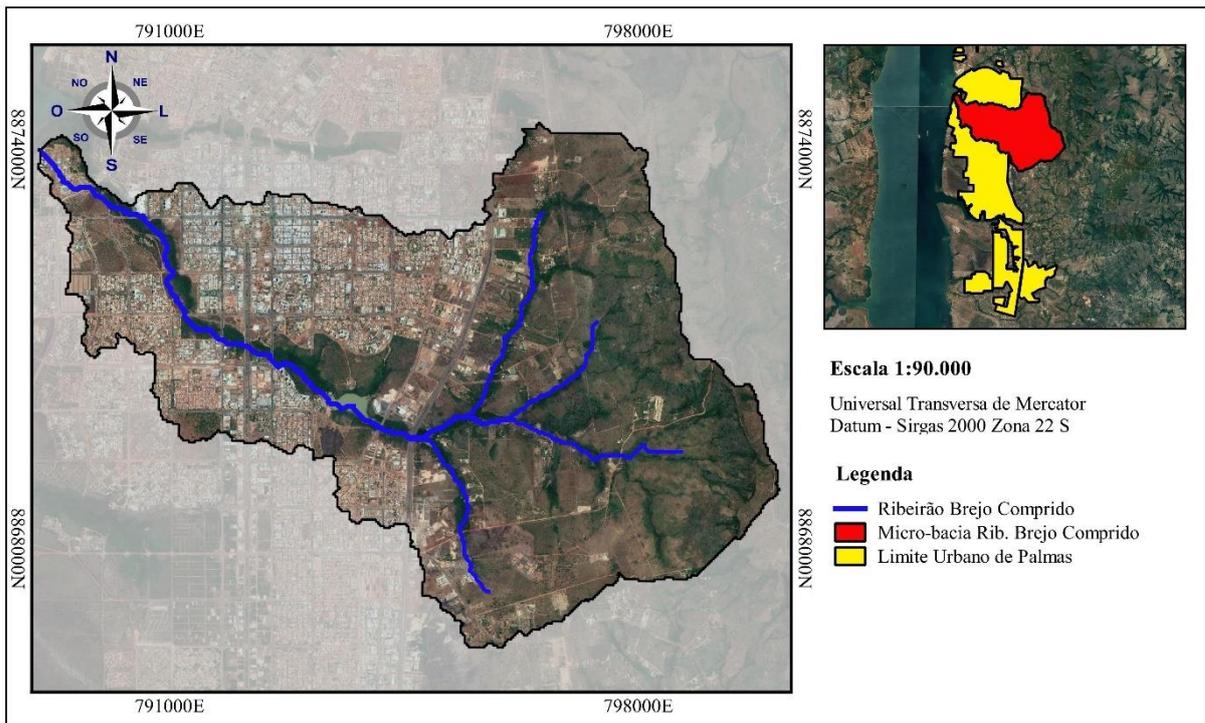
Os itens a seguir discriminam cada uma das etapas de composição realizadas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MICROBACIA DE ESTUDO

Palmas possui, de modo geral, duas bacias hidrográficas que compõem seu sistema de drenagem: a Bacia do Rio Tocantins e a Bacia do Rio Balsas. A zona urbana do município é drenada por afluentes diretos do rio Tocantins, os principais cursos d'água que compõem esse sistema de drenagem urbana da cidade são: o Córrego Água Fria, o Córrego Sussuapara, o Córrego Brejo Comprido, o Córrego do Prata, o Taquaruçu Grande e o Taquari (PALMAS, 2014).

A microbacia onde as simulações foram desenvolvidas é do Córrego Brejo Comprido (Figura 18). A microbacia possui grande parte de sua extensão em zona urbana, com área de drenagem abrangendo quase todo o Plano Diretor Central da cidade, numa área bastante consolidada do perímetro urbano com a presença do Parque Cesamar na sua cabeceira.

Figura 18. Mapa da microbacia do Ribeirão Brejo Comprido



O Córrego Brejo Comprido tem suas nascentes na Serra do Lajeado e seu canal corta o Plano Diretor de Palmas no sentido Leste-Oeste desaguando no reservatório da UHE – Luís Eduardo Magalhães (SOUZA; FIGUEROA, 2012; ARRAIS, 2009).

O córrego possui dois tipos de uso outorgados para a microbacia, o abastecimento populacional e a irrigação de parques e jardins, mas serve também de corpo receptor de efluentes tratados, não tratados e ainda resíduos sólidos. Como a maior parte de sua extensão

se localiza no perímetro urbano de Palmas, seu canal encontra-se margeado por ocupações urbanas que originam diferentes impactos ambientais ao longo de seu curso: a retirada de parte da cobertura vegetal, alterações na permeabilidade do solo, aumento de erosões e à presença de lixo e entulhos em suas vertentes. Além disso, devido a criação do reservatório UHE Lajeado a área de desague, que também drena as águas do córrego Suçuapara, encontra-se bastante degradada (SOUZA et al., 2013; ARAÚJO et al., 2013).

Junto da microbacia do córrego Água Fria, a microbacia do Córrego Brejo Comprido atende a região central de Palmas com o maior Índice de Cobertura de Rede de drenagem (ICR) do espaço urbano do município. Esse índice representa o estágio de atendimento do sistema de drenagem nas bacias até o ano de 2014. O cálculo desse indicador considera duas variáveis: a área onde existe rede de drenagem implantada e em carga e a área urbanizada da bacia hidrográfica analisada, desconsiderando as áreas verdes e as áreas desocupadas. A microbacia do Córrego Brejo Comprido apresenta a melhor condição de cobertura com um ICR de 0,87 (Tabela 5) (PALMAS, 2014; ARAÚJO et al., 2013).

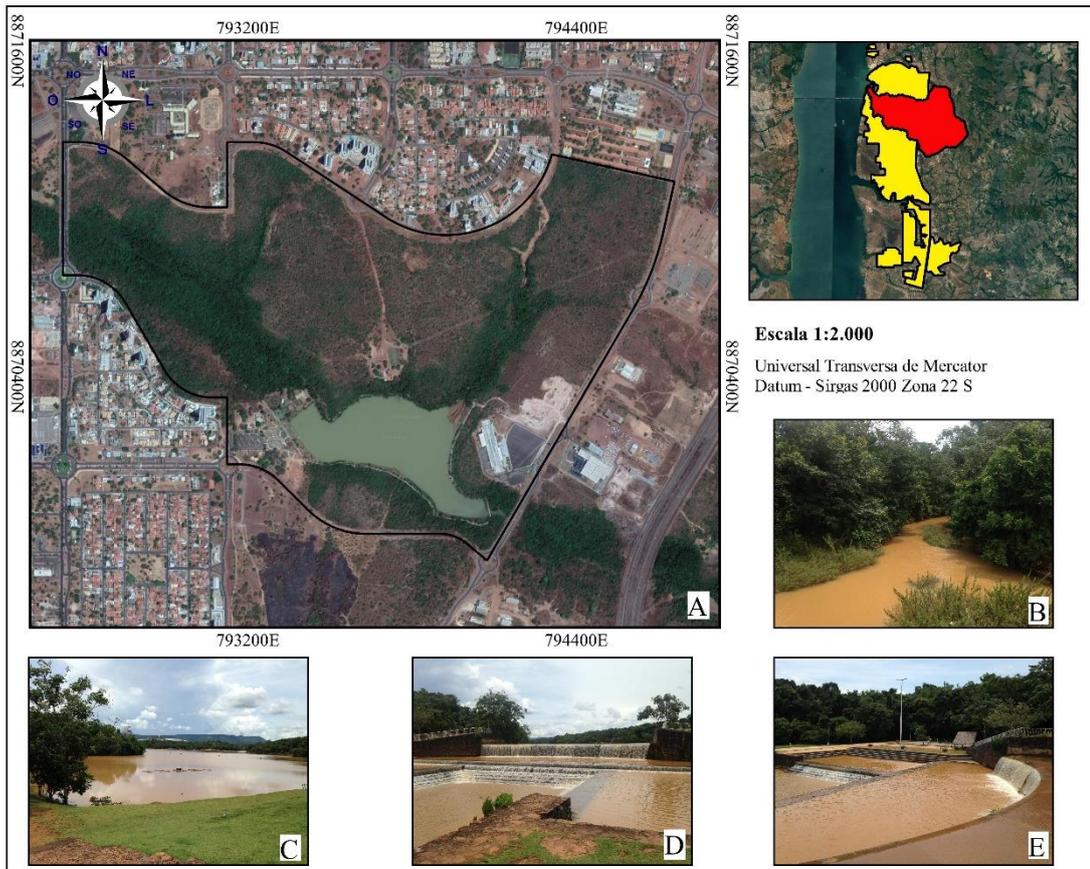
Tabela 5. ICR das bacias hidrográfica urbanas de Palmas

Microbacias	ICR
Microbacia do Córrego Brejo Comprido	0,87
Microbacia do Ribeirão Água Fria	0,79
Microbacia do Córrego Sussuapara	0,79
Microbacia do Córrego Machado	0,52
Microbacia do Córrego Cipó	0,50
Microbacia do Ribeirão Taquaruçu	0,49
Microbacia do Córrego Taquari	0,48
Microbacia do Córrego Prata	0,39
Microbacia do Córrego Pé do Morro	0,10

Fonte: Adaptado de Palmas (2014).

A microbacia ainda conta com o Parque Cesamar (Figura 19A), importante ambiente para práticas esportivas, de recreação da população palmense e um dos principais cartões postais da cidade. O parque possui 6.000 m de perímetro e ocupa área às margens do córrego Brejo Comprido. Uma parte do córrego foi represado formando um lago cujo volume d'água é de aproximadamente 500.000 m³, a barragem construída mede 150 m de comprimento, toda protegida por gabiões e colchão reno, sobre o qual a água verte em cascata, num anel de 30 m de comprimento, caindo em três piscinas que originalmente serviam para banho (OLIVEIRA, 1998).

Figura 19. Mapa do Parque Cesamar



O Lago Cesamar é formado por cinco afluentes cujo principal é o próprio córrego Brejo Comprido (Figura 19B) e compõe o sistema de drenagem da cidade como uma bacia de retenção. O Lago possui espelho d'água com área de 15,45 hectares e profundidade média de 2 metros (Figura 19C), o controle da vazão do córrego Brejo Comprido dentro da área do parque é feita por meio de vertedouros em gabião (Figura 19D e 19E). A estimativa da área de contribuição na entrada no lago é de aproximadamente 178 hectares (PALMAS, 2014).

A fim de atender o objetivo principal dessa dissertação que envolve o sistema urbano de drenagem, as simulações levaram em consideração a área urbana da microbacia. Foram realizadas duas análises: a análise morfométrica da microbacia e o uso e a ocupação do solo das áreas de contribuição do sistema de microdrenagem. O propósito dessas análises foi obter os parâmetros considerados nas etapas seguintes de simulação.

3.1.1 Análise morfométrica da bacia

A delimitação da parcela urbana da microbacia do Córrego Brejo Comprido foi realizada com a ferramenta TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*), instalada no programa QGIS. A delimitação de BH depende primariamente do Modelo Digital de Terreno (MDT), uma representação digital do relevo da superfície terrestre. O MDT utilizado na delimitação da parcela urbana foi gerado a partir de um levantamento planialtimétrico fornecido pela Secretaria de Infraestrutura e Obras de Palmas, com curvas de nível de metro a metro da área urbana da cidade.

A análise morfométrica da bacia foi desenvolvida com base nas características geométricas, de relevo e nas características dos canais de drenagem. Foram determinados na caracterização geométrica a área e o perímetro da bacia, bem como seu coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), a densidade hidrográfica (D_h) e extensão da bacia.

3.1.2 Determinação do *curve number* da bacia

A infraestrutura de drenagem de Palmas não cobre toda a cidade e a análise uso e ocupação levou em consideração apenas as áreas de contribuição direta dos sistemas de microdrenagem. As áreas de contribuição foram determinadas seguindo as delimitações da Planta de Macrodrenagem – Bacias de Contribuição de Palmas, fornecida pela Secretaria de Infraestrutura e Obras, na qual constam as galerias pluviais executadas, as projetadas, os sentidos dos escoamentos e os pontos de lançamento (ANEXO A).

Foram delimitadas 33 áreas de contribuição, totalizando uma área de 9,52 km² que representa 19,68% da área total da microbacia do Brejo Comprido. As áreas de contribuição foram inseridas como o objeto sub-bacia no SWMM. O mapa com as áreas de contribuição está no Apêndice A.

A determinação do *curve number* do solo da microbacia se deu por meio de classificação supervisionada de uma imagem de alta resolução da área de estudo, pelo método de máxima verossimilhança (MAXVER). A imagem utilizada na classificação é do satélite Plêiades do ano de 2015 e tem resolução espacial de 0,50 m, resolução radiométrica de 8 *bits* por célula e composição colorida em 3 bandas (*red*, *green* e *blue*). A classificação supervisionada foi feita no QGIS utilizando a extensão *Semi-Automatic Classification Plugin*, que possibilita a classificação supervisionada célula a célula de imagens de satélites.

A precisão da classificação foi determinada por meio da matriz de confusão e pelo cálculo do Índice Kappa. Esse índice estatístico mede o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes. Quando aplicado na classificação de imagens apresenta o quanto à classificação está de acordo com os dados de referência (SILVA; PAES, 2012; FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007).

O índice Kappa é calculado por meio da Equação 6 com os valores de observações encontrados na matriz de confusão.

$$k = \frac{k_1 - k_2}{1 - k_2} \quad (6)$$

Onde:

k_1 : razão entre os pares de observações concordantes e o número total de observações;

k_2 : é a soma das probabilidades de em ambas as classificações as células serem classificadas igualmente.

A Tabela 6 apresenta os intervalos de avaliação do índice Kappa.

Tabela 6. Valor para avaliar o grau de concordância a partir do índice Kappa

Valor do Kappa	Concordância
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Fraca
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Boa
0,81 - 1,00	Muito boa

Fonte: Silva e Paes, 2012.

Foram considerados três tipos distintos de solo e respectivos: áreas com vegetação, campos abertos sem vegetação e áreas impermeabilizadas. O Quadro 5 apresenta exemplos de capturas feitas na imagem para classificação da cobertura.

Quadro 5. Tipos de coberturas e exemplos de captura

Tipos de coberturas	Exemplo de áreas de captura	
	Telhados	Pavimentos e lajes de concreto
Áreas impermeáveis		
Área com vegetação	Árvores em área urbana	Vegetação baixa
		
Campos abertos	Solo exposto e sem vegetação	
		

Foram consideradas áreas com vegetação com CN igual a 61, campos abertos sem vegetação e CN igual a 69, e áreas impermeabilizadas com CN igual a 98.

3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Foram considerados dois cenários de simulação, construídos levando em consideração o comportamento das microbacia em função a chuva de projeto e tempo de retorno. O primeiro cenário se configura na condição atual da microbacia do Córrego Brejo Comprido, no qual o escoamento gerado pelas águas pluviais é direcionado à rede drenagem existente, sem os dispositivos que possibilitassem o aumento da infiltração. Por sua vez, o segundo cenário foi configurado sobre o conceito de sistema sustentável de drenagem, idealizado pela simulação da implantação de técnicas de LID na infraestrutura de manejo do escoamento superficial.

3.2.1 Precipitação de projeto

Um fator de suma importância para projetos de obras hidráulicas é o conhecimento da precipitação máxima, ou chuvas intensas, e das grandezas que caracterizam essas precipitações: sua intensidade, duração e frequência (CARVALHO; SILVA, 2006). Essas chuvas máximas são comumente adotadas como as precipitações de projeto por conferirem ao dimensionamento condições mais críticas. A precipitação que define o comportamento hidrológico da bacia do Ribeirão Brejo Comprido foi determinada a partir da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

Andrade (2014) estimou em sua pesquisa os valores dos coeficientes da equação de chuvas intensas para Palmas -TO. A Equação 7, a seguir, é resultado dos estudos do autor.

$$i = \frac{884,669 \times T^{0,156}}{(t + 9,884)^{0,726}} \quad (7)$$

Onde:

i: intensidade máxima de chuva (mm/h);

T: período de retorno (anos); e

t: duração da chuva (min).

O tempo de retorno adotado foi de 25 anos conforme recomendação de Tomaz (2002) para redes de microdrenagem. Esse período deve ser determinado nos projetos de obras de drenagem urbana levando em consideração a natureza das obras a serem projetadas e calculando os riscos envolvidos quanto à segurança da população e as possíveis perdas materiais.

Quanto ao tempo de duração da chuva de projeto, Tomaz (2002) aponta é comum que o tempo de duração de chuva seja igual ao tempo de concentração (Tc). O Tc é o tempo em a precipitação na região mais remota da bacia leva para chegar ao exutório. Existem diversas metodologias para o cálculo do Tc (min), nesta dissertação foi adotado o método desenvolvido por Kirpich (Equação 8):

$$Tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (8)$$

Onde:

L: comprimento do talvegue (km); e
H: amplitude da bacia (m).

O talvegue do Ribeirão Brejo Comprido na área urbana possui 7,48 km, iniciando no Parque Cesamar e desaguando no reservatório da UHE, e a microbacia 76,95 m de amplitude. O Tc encontrado foi de 310 minutos.

Determinada a intensidade de precipitação, o tempo de duração e o tempo de concentração da precipitação de projeto foi desenvolvida a Série Temporal de Precipitação, dado de entrada do objeto Pluviômetro, no SWMM. Essa série temporal foi desenvolvida pelo método dos blocos alternados e segue apresentada abaixo.

Figura 20. Série temporal

Tempo de Duração (h)	Precipitação (mm)	Tempo de Duração (h)	Precipitação (mm)
00:00	0,00	02:45	35,43
00:15	1,72	03:00	14,88
00:30	1,87	03:15	7,11
00:45	1,96	03:30	4,82
01:00	2,17	03:45	3,71
01:15	2,45	04:00	3,05
01:30	2,82	04:15	2,62
01:45	3,35	04:30	2,30
02:00	4,18	04:45	2,06
02:15	5,72	05:00	1,79
02:30	9,54	05:15	1,66

O intervalo de precipitação adotado foi igual ao intervalo entre os valores de precipitação na Série Temporal de 15 minutos.

3.2.2 Infiltração, escoamento superficial e propagação de fluxo

Dos modelos de infiltração mencionados acima e possíveis de aplicar nas simulações do SWMM o escolhido nessa dissertação foi o SCS. Diferente dos modelos de Green-Ampt e Horton que necessitam de parâmetros obtidos em campo de infiltração do solo, o modelo SCS necessita de fatores empíricos estimados indiretamente pelo tipo de cobertura de diversos tipos de solo.

O método SCS foi desenvolvido nos Estados Unidos pelo Departamento de Agricultura com base em análises aplicadas em várias bacias hidrográficas norte-americanas. Trata-se de

um método de distribuição temporal baseado no conceito do hidrograma unitário que apesar de ter sido desenvolvido e aplicado nos EUA já possui adaptações para diversos estados brasileiros.

Esse método depende do *Cuve Number* ou Número Curva (CN), parâmetro que depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente. No método do SCS os grupos hidrológicos de solos se dividem em quatro categorias. A Tabela 7 apresenta valores de CN para bacias urbanas, segundo a *Natural Resources Conservation Service*.

Tabela 7. Curva Número para áreas urbanas

Descrição da cobertura		CN para os grupos hidrológicos de solo			
Tipo de cobertura	Média área impermeável (%)	A	B	C	D
Espaços abertos (gramados, relvados, parques, cemitérios):					
Condição pobre (cobertura de relva <50%)		69	79	86	89
Condição razoável (cobertura de relva entre 50% e 75%)		49	69	79	84
Condição boa (cobertura de relva >75%)		39	61	74	80
Áreas impermeáveis:					
Estacionamentos pavimentados, telhados, vias pavimentadas		98	98	98	98
Ruas e avenidas:					
Pavimentadas; meio-fio e rede de drenagem		98	98	98	98
Pavimentadas; valas abertas		83	89	92	93
Zonas residenciais por área média do lote (m ²)					
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84

Fonte: NRCS, 1986.

A aplicação desse método foi dividida em duas etapas: a separação do escoamento e o cálculo do hidrograma. Na separação do escoamento superficial quando as perdas iniciais são superiores a precipitação total, ou seja, quando toda precipitação é interceptada ou infiltra no solo, não há escoamento. Por outro lado, quando a precipitação total é superior as perdas iniciais é possível obter o valor do escoamento. Essas perdas iniciais são comumente adotadas como em um percentual de 20%, esse valor foi obtido por meio de estudos empíricos (PORTO, 1995).

Tomando por base essas considerações o escoamento pode ser obtido pelas seguintes equações.

$$I_a = \frac{S}{5} \quad (9)$$

Onde:

I_a : valor das perdas iniciais; e

S: parâmetro de armazenamento, representa o volume de retenção potencial máximo (mm).

Esse parâmetro S é obtido por meio da Equação 10, a seguir:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (10)$$

A classificação do tipo de solo e condições de uso e ocupação do solo necessárias para a definição do CN são apresentadas a seguir. O Quadro 6 apresenta os tipos característicos de solo.

Quadro 6. Tipos característicos de solo

Grupo	Características
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m, e que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2 m. Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados. Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração.

Fonte: Tomaz, 2002.

Nessa dissertação os solos da microbacia do Córrego Brejo Comprido foram considerados no grupo hidrológico B. Mendes (2018) e Sartori et al. (2005), classificam esse solo no mesmo grupo hidrológico. O CN foi determinado pela classificação supervisionada.

Em posse dos dados que caracterizam o solo e determinado o valor do parâmetro S de armazenamento, unindo as equações anteriores o escoamento potencial (Q) é o obtido por meio da Equação 11.

$$Q = \frac{(P - Ia)}{P + 0,8S} \quad (11)$$

Onde:

P: precipitação total (mm).

Foram aplicados os valores de número de curva referentes às áreas urbanizadas, levando em consideração os seus tipos de ocupação do solo. Como a microbacia foi dividida em áreas de estudo menores, cada área de contribuição possui seu CN característico. Além disso, dos três modelos que caracterizam o transporte de água nos condutos no SWMM, o fluxo em regime uniforme, a onda cinemática e a onda dinâmica, foi adotado na simulação o modelo da onda cinemática. Nesse modelo a declividade da superfície livre da água é igual à declividade do fundo do conduto (ROSSMAN, 2010).

3.3 CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICO-HIDROLÓGICAS

As simulações de sistemas de drenagem urbano no SWMM, em geral, seguem um roteiro básico. De forma simplista: uma precipitação de projeto é definida e inserida no programa, as sub-bacias recebem essa precipitação e o volume que não infiltra se transforma em escoamento superficial que é conduzido por meio de condutos até o ponto de deságue, o exutório final.

As simulações construídas no SWMM basicamente contaram com três frentes: a determinação das características referentes a cada sub-bacia (área de contribuição), os parâmetros referentes aos condutos, ou seja, a rede de microdrenagem da bacia urbana e os dispositivos LID a serem implantados no sistema de drenagem.

3.3.1 Parâmetros adotados nas sub-bacias

Na caracterização das sub-bacias não foram considerados os reservatórios de águas subterrâneas e acumulação de neve. O Apêndice B apresenta todos os valores adotados para cada sub-bacia.

A largura corresponde à extensão característica do escoamento superficial, em metros. O valor estimado dessa largura, conforme orienta Rossman (2010) foi estimado dividindo a área da sub-bacia pelo valor médio do comprimento máximo de escoamento superficial, ou seja,

a distância percorrida pelo escoamento da cota mais alta da bacia da sub-bacia. O valor da largura foi determinado por meio da Equação 12.

$$W = \frac{A}{L} \quad (12)$$

Onde:

W: largura (m);

A: área da sub-bacia (m²);

L: comprimento máximo de escoamento superficial (m).

O parâmetro “% Impermeável” corresponde ao percentual de área impermeável e foi determinado a partir da análise dos resultados da classificação supervisionada de imagens. A seguir, foram determinados os coeficientes de Manning para parcelas permeáveis e impermeáveis onde o escoamento superficial flui, esses coeficientes foram adotados respectivamente como 0,011 e 0,15 valores característicos de superfícies de asfalto liso e gramado curto.

Foram também determinadas às profundidades de armazenamento em depressão, em milímetros, para as parcelas impermeáveis e permeáveis das sub-bacias, no SWMM indicados por PA-Impermeável e PA-Permeável. Esses parâmetros correspondem ao armazenamento inicial de água em depressões naturais nas sub-bacias antes que o escoamento tenha início, e foram adotados os valores de 1,27 mm para áreas impermeáveis e de 2,54 mm para as áreas permeáveis (ROSSMAN, 2010).

Com relação ao modelo de propagação de escoamento nas sub-bacias o SWMM permite que sejam considerados três que relacionam as áreas permeáveis e impermeáveis: o modelo *impervious*, no qual o escoamento se propaga a partir da área permeável para a área impermeável; o modelo *pervious*, em que o se propaga a partir da área impermeável para a área permeável; e o modelo *outlet*, em que a propagação do escoamento ocorre a partir de ambas as áreas diretamente para o exutório da sub-bacia. A modo de propagação adotado foi o *outlet*, uma vez que os dispositivos captadores do escoamento superficial da bacia recebem as contribuições tanto das áreas permeáveis quanto das áreas impermeáveis.

Outro parâmetro adotado corresponde a porcentagem da área impermeável em que não ocorrem armazenamento em depressão indicada por “% A imp s/ arm.”, o valor assumido foi de 25, seguindo as recomendações de de James et al. (2010) no *User’s Guide to SWMM5*, esse

valor é adotado também por Mendes (2018), Gironás et al. (2009) e Shinma (2011). Por fim, foi determinado o percentual do escoamento superficial que de fato se propaga pela sub-bacias, para tanto foi considerado que todo escoamento se propaga, logo “% Propagada” foi tido como 100.

3.3.2 Parâmetros adotados nas redes de drenagem

A microbacia do Córrego Brejo Comprido possui a maior cobertura de rede de drenagem urbana de Palmas, uma das razões que justificou sua escolha. O lançamento da rede de microdrenagem no SWMM seguiu o Cadastro de Drenagem Urbana do Município, fornecido pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas, com atualização em 2017. Esse cadastro é um arquivo formato CAD no qual estão dimensionadas as redes de drenagem de Palmas, contendo informações de comprimento, profundidade e inclinação dos trechos, profundidade dos PV, e as cotas de terreno.

Contudo, o cadastro das redes não é preciso. O setor de drenagem de Palmas possui fragilidades e uma delas é justamente a ausência de informações precisas, Mendes (2018) também destacou essa dificuldade. De acordo com a própria Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos ao longo dos anos diversos registros e projetos de drenagem foram perdidos por condições impróprias de arquivamento de documentos físicos antes da transição para arquivos digitais.

As principais falhas detectadas no cadastro das redes de drenagem da prefeitura foram: a ausência de informações como cotas em alguns trechos e incompatibilidades com informações mencionadas no PMSB.

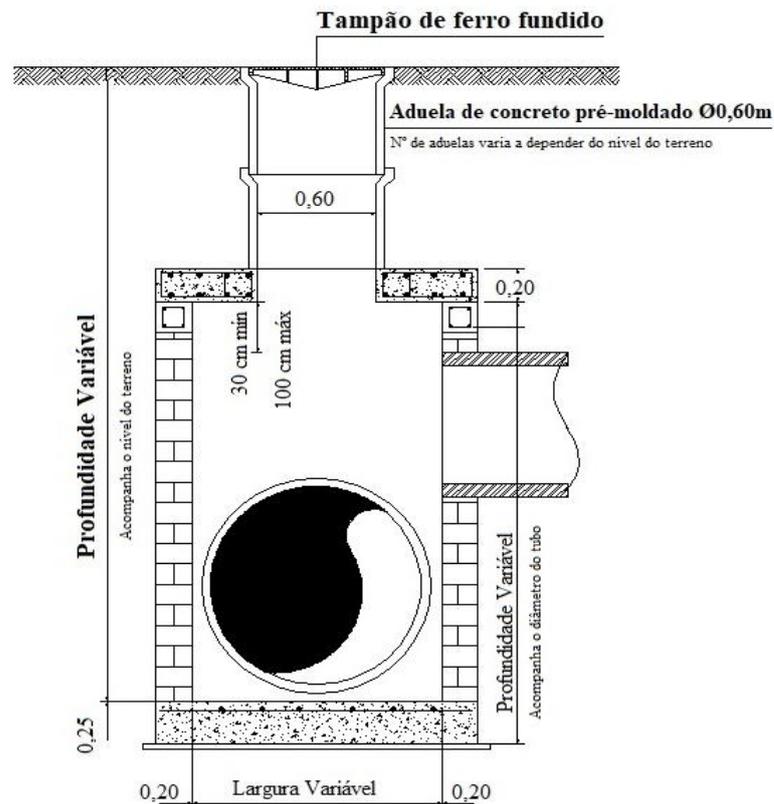
Algumas redes de drenagem, segundo aponta o cadastramento, possuem apenas os ramais, ou seja, foram instaladas em algum momento, mas os dispositivos de captação do escoamento (BL, por exemplo) não foram implantados. Deste modo, foram necessárias aplicações de medidas de correção e compatibilização das redes de drenagem.

As redes mencionadas no PMSB, mas que não estão cadastradas foram dispensadas e os trechos com ausência ou incompatibilidades de cotas foram corrigidos com os valores do (MDT) levantamento altimétrico disponibilizado pela Prefeitura no site GeoPalmas¹.

¹ Disponível em: < <http://geo.palmas.to.gov.br/> > → Mapas Temáticos → Altimetria Urbana. Acesso em: 13 mar. 2019.

Alguns PV não possuíam informações de cotas e profundidade e foram também compatibilizados de acordo com o levantamento altimétrico da Prefeitura. Desta feita, a profundidade de cada PV foi determinada a partir do diâmetro dos condutos, levando em consideração as dimensões de tampa, folga entre as lajes e as geratrizes do tubo, e as profundidades usualmente executáveis para esses dispositivos, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21. Detalhamento do PV adotado nas correções da rede



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram definidas as profundidades mínimas e adotadas para os PV em função dos diâmetros das redes levando em consideração os seguintes critérios:

- Uso de uma aduela de concreto pré-moldado de altura de 0,50 m (comercial);
- Laje superior de concreto armado com espessura de 0,20 m;
- Folga entre a laje e a geratriz superior dos tubos de 0,30 m (mínimo);
- Borda dos tubos no valor de 20% do diâmetro;
- Laje de fundo em concreto magro com espessura de 0,10 m.

A Tabela 8, a seguir, apresenta as profundidades mínimas e adotadas para os PV da rede de drenagem da microbacia do Córrego Brejo Comprido segundo os critérios estabelecidos acima.

Tabela 8. Profundidades adotadas para os PV

Diâmetro da Rede	Profundidade Mínima (m)	Profundidade Adotada (m)
Ø0,60	1,82	1,90
Ø0,80	2,06	2,10
Ø1,00	2,34	2,40
Ø1,20	2,71	2,80
Ø1,50	2,95	3,00

As cotas foram compatibilizadas no programa AutoCad Civil 3d, no qual a superfície do terreno da microbacia foi gerada a partir dos pontos do levantamento altimétrico da Prefeitura. As cotas registradas no cadastro foram comparadas às do levantamento altimétrico e compatibilizadas, posteriormente foram adicionadas as cotas de terreno e profundidade nos PV e demais dispositivos que não possuíam.

Da rede total de drenagem presente no cadastro foram analisadas nas simulações um total de 17,33 km. O Anexo B apresenta as plantas baixas das redes consideradas nas simulações.

No SWMM os objetos que representam as tubulações são os condutos, que transportam a água entre os nós, objetos que representam os PV. Os parâmetros definidos na caracterização dos condutos foram: forma, profundidade máxima, comprimento, coeficiente de Manning e *offset* de entrada e saída.

Logo, a seção transversal adotada foi a circular padrão assumindo a quantidade de tubos paralelos presentes no cadastro da drenagem. O comprimento dos trechos obedeceu às extensões reais apresentadas no cadastro e o coeficiente de rugosidade de Manning adotado seguiu as recomendações do Manual do SWMM (ROSSMAN, 2010) assumindo o valor de 0,013, característico das tubulações de concreto. Por fim, o *offset* de entrada e saída que corresponde a distância entre a cota de fundo do PV e a geratriz inferior do conduto foi adotado como 10 cm.

3.3.3 Parâmetros adotados nos dispositivos LID

Os dispositivos de LID implantados nas simulações foram células de biorretenção e trincheiras de infiltração. As trincheiras de infiltração foram implantadas nos canteiros centrais

das avenidas que separam as quadras da microbacia e as células de biorretenção foram dimensionadas prevendo sua implantação na área das rotatórias.

Essas rotatórias são grandes áreas ociosas, sem arborização e que nos períodos de chuvas ficam parcialmente submersas em algumas regiões durante as enxurradas. A bacia do Brejo Córrego Comprido possui 48 rotatórias que totalizam uma área de 217.938,08 m² e os canteiros centrais totalizam uma área de 498.158,54 m². Essas áreas representam um percentual de 3,54% da área da bacia, nos quais serão implantados os dispositivos de LID.

As trincheiras e células de biorretenção dessa dissertação foram dimensionadas levando em consideração a equação IDF de Andrade 2014 (Equação 7) para o mesmo tempo de retorno da chuva de projeto (25 anos).

Tipicamente, o dimensionamento inicial das trincheiras de infiltração se dá na determinação da largura e comprimento do dispositivo tendo em vista as limitações arquitetônicas da área de instalação. Os canteiros centrais de Palmas têm largura média de 5,0 m, assim a largura fixada para as trincheiras foi de 1,0 m e prevendo a instalação de dois dispositivos paralelos por canteiro. O comprimento das trincheiras foi determinado pelo comprimento do próprio canteiro prevendo a instalação em toda extensão. Cada trincheira foi dimensionada com extensão de 100 metros a intervalos de 3,0 m entre uma e outra. Nas simulações foram consideradas trincheiras com profundidade de 1,5 m e admitiu-se uma taxa de infiltração constante.

No SWMM, o dispositivo trincheira de infiltração é composto por duas camadas: a camada de superfície e a camada de armazenamento da água. Além disso, é possível adicionar um dreno ao dispositivo caso haja o interesse em direcionar o escoamento para determinado nó. Na camada de superfície foram adotados uma rugosidade superficial de 0,1 e declividade superficial de 1,0%, valores propostos por Martins (2017). Na camada de armazenamento foram adotados: altura da camada de armazenamento de 400 mm, índice de vazios de 0,61, levando em consideração uma camada de brita com porosidade igual a 0,38, mesmo valor adotado por Silveira e Goldenfum (2007), e por fim uma taxa de filtração de 15 mm/h, adotando-se uma camada de cascalho abaixo da camada de brita, o valor considerado segue a recomendação de Rossman (2010).

A geometria adotada para as células de biorretenção foi circular, e respeitando as recomendações da literatura: área máxima inferior a 800 m² e até 4% do tamanho da área impermeável a ser drenada. Foram dimensionadas células de biorretenção com área padrão de 200 m². Foram adotadas células com altura da camada de brita de 600 mm de acordo com Rossman (2010) e sem dreno. A Tabela 9 apresenta a área total dos dispositivos LID.

Tabela 9. Área total dos dispositivos LID

Sub-bacias	Área (Ha)	Biorretenção		Trincheira de Infiltração		Sub-bacias	Área (Ha)	Biorretenção		Trincheira de Infiltração	
		Unidades	Área (m ²)	Linear (m)	Área (m ²)			Unidades	Área (m ²)	Linear (m)	Área (m ²)
1	93,24	5	1000	2265	4530	18	7,98	2	400	660	1320
2	84,55	5	1000	1932	3864	19	12,82	2	400	660	1320
3	29,19	4	800	599	1198	20	11,72	2	400	600	1200
4	48,67	4	800	1660	3320	21	21,69	3	600	873	1746
5	34,81	4	800	1090	2180	22	8,83	2	400	490	980
6	18,46	3	600	1317	2634	23	7,72	2	400	400	800
7	57,23	5	1000	1865	3730	24	41,03	4	800	2516	5032
8	20,32	3	600	630	1260	25	7,58	2	400	700	1400
9	13,92	3	600	440	880	26	12,81	2	400	660	1320
10	18,79	3	600	1135	2270	27	11,72	2	400	480	960
11	18,19	3	600	830	1660	28	8,83	2	400	520	1040
12	22,68	3	600	826	1652	29	43,44	4	800	2317	4634
13	20,96	3	600	802	1604	30	20,96	3	600	834	1668
14	17,39	3	600	600	1200	31	22,25	3	600	1203	2406
15	15,82	3	600	740	1480	32	41,93	4	800	1097	2194
16	20,67	3	600	480	960	33	74,20	5	1000	3023	6046
17	61,37	5	1000	3198	6396						

O percentual de contribuição das áreas impermeáveis para os dispositivos LID foi determinado por meio da análise do comportamento do fluxo do escoamento em cada sub-bacia. Adotou-se, a partir da média contribuição de cada sub-bacia que as trincheiras recebem cerca de 30% do escoamento das áreas impermeáveis e as células de biorretenção cerca de 20%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DELIMITAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBRACIA

De acordo com as informações apresentadas no PMSB de Palmas (PALMAS, 2014) a microbacia do Córrego Comprido possui cerca de 46,08 km², e perímetro de 32,83 km. A Tabela 10 a seguir apresenta as características geométricas da microbacia.

Tabela 10. Parâmetros morfométricos da microbacia

Parâmetros	Valores
Área Total (km ²)	46,08
Perímetro total (km)	32,83
L principal (km)	13,9
Dt (km)	39,82
Dd (km/km ²)	0,86
F	0,24
Kc	1,35
Ic	0,54

Dt – Rede de Drenagem Total; Dd – Densidade de Drenagem;
 F – Fator de Forma; Kc– Coeficiente de Compacidade;
 Ic – Índice de Circularidade.

Fonte: Palmas, 2014.

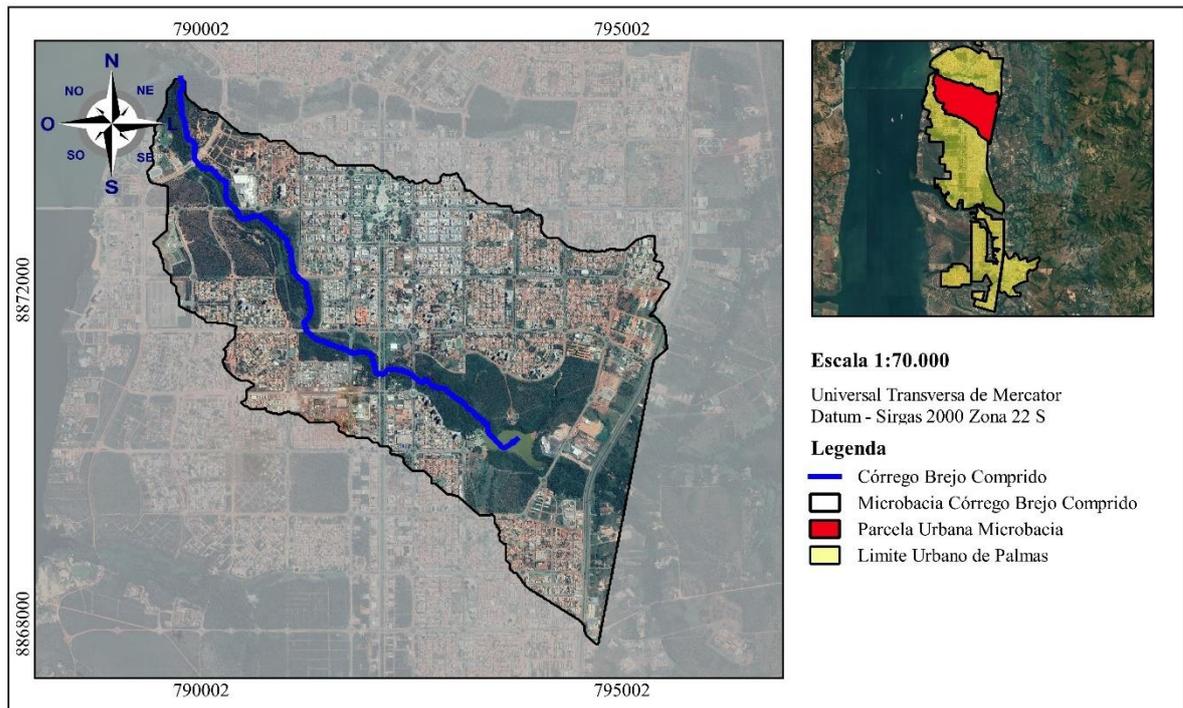
A microbacia possui formato mais alongado, o que indica baixo potencial para ocorrência de inundações, por não haver concentração de deflúvio. E como o valor do fator de forma é baixo (0,24) essa bacia possui poucas chances de inundar durante os eventos de pico de cheia.

A área urbana da microbacia representa um percentual de 43,85% de sua área total, medindo 20,21 km² de área e com um perímetro de 29,02 km. O talvegue do Córrego Brejo Comprido na área urbana possui 7,48 km e a microbacia apresenta amplitude de 76,95 m, o que lhe confere uma declividade média de 1,02%.

Com relação ao padrão de drenagem, a microbacia possui em sua área urbana um total de 155,76 km de cursos d'água, divididos em 5 classes. A sua densidade de drenagem é igual a 7,71 km/km², valor que a classifica como densidade hidrográfica alta de acordo com Lollo (1995).

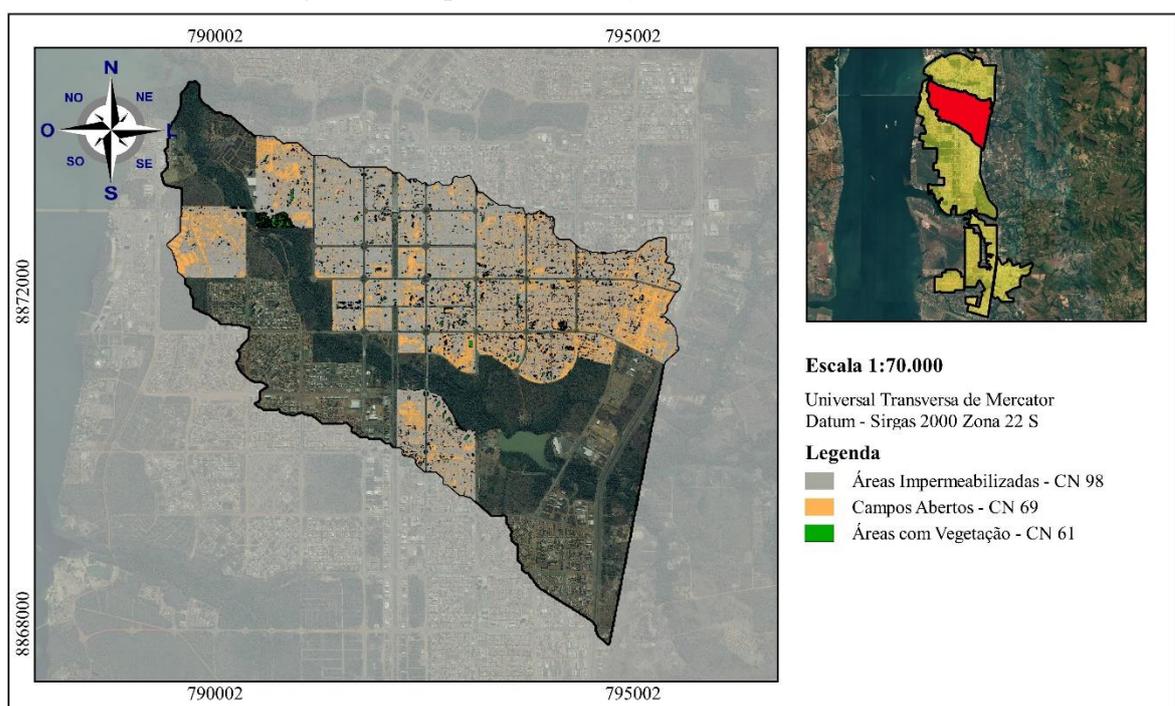
A Figura 22 apresenta o mapa da delimitação urbana da microbacia do Córrego Brejo Comprido.

Figura 22. Mapa da microbacia do Córrego Brejo Comprido



Quanto a determinação do CN, a Figura 23 abaixo apresenta os resultados da classificação supervisionada da imagem da microbacia. No mapa classificou-se a imagem nas 3 classes de solo pré-determinadas: áreas com vegetação, campos abertos sem vegetação e áreas impermeabilizadas.

Figura 23. Mapa da classificação da cobertura do solo



A acurácia da classificação foi determinada por meio da matriz de confusão e pelo cálculo do Índice Kappa. A Tabela 11 apresenta a matriz de confusão, na qual do total de 23.288 observações 21.209, cerca de 91,07%, são concordantes.

Tabela 11. Matriz de confusão

Classificação	Áreas com Vegetação	Áreas Impermeabilizadas	Campos Abertos	Total
Áreas com Vegetação	2647	423	214	3284
Áreas Impermeabilizadas	326	10238	756	11320
Campos Abertos	129	231	8324	8684
Total	3102	10892	9294	23288

O Índice Kappa encontrado com o resultado da matriz é igual a 0,85. O grau de concordância da classificação é muito bom segundo os intervalos propostos por Silva e Paes (2012).

4.2 SIMULAÇÃO DO SISTEMA SEM LID

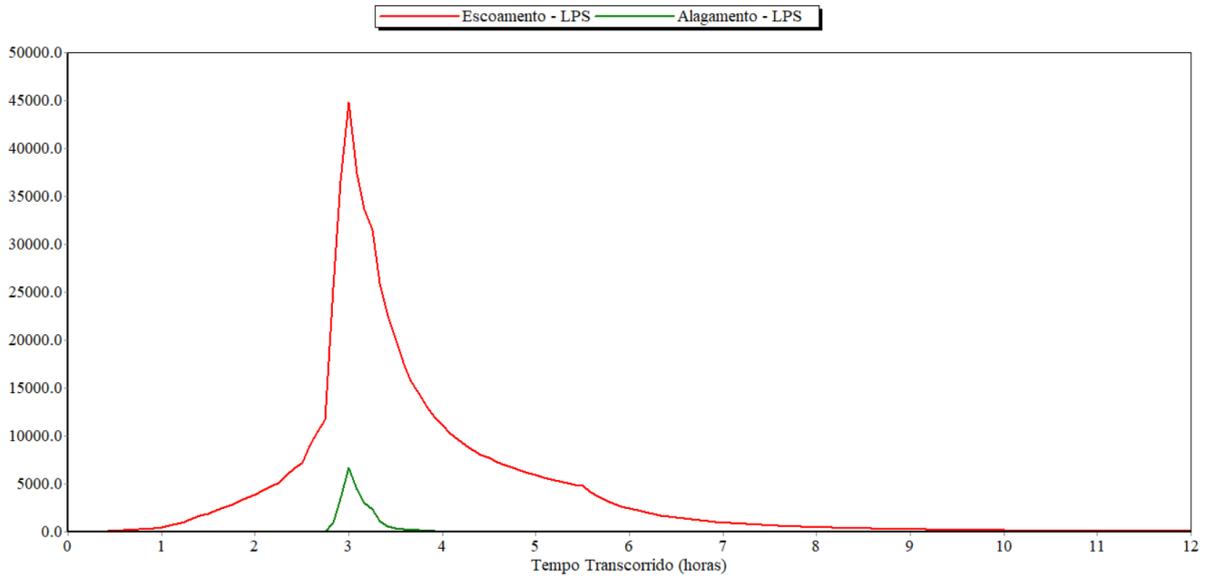
Depois de determinados todos os parâmetros necessários, foi realizada a simulação da condição atual do sistema de microdrenagem, sem os dispositivos LID. De acordo com Rossman (2010) há um percentual aceitável de erros que representam a diferença, em porcentagem, entre a quantidade armazenada inicialmente, mais o fluxo que entra, e a quantidade armazenada no final mais ou fluxo que sai, esse percentual é de 10%, erros maiores que esse sugerem que existem considerações importantes a serem revistas na simulação.

Nessa etapa a simulação foi bem-sucedida, com erros de continuidade referentes ao escoamento superficial e a propagação de vazão com valores de -0,10% e -0,07%, respectivamente.

4.2.1 Escoamento superficial

O escoamento superficial na simulação teve pico na terceira hora transcorrida. A Figura 24 apresenta o pico do escoamento com vazão de cerca de 44,85 m³/s, e o pico do alagamento nos trechos do sistema de microdrenagem em relação ao tempo em horas, com vazão de 6,74 m³/s.

Figura 24. Pico de escoamento e alagamento no sistema



Além disso, a simulação apresentou elevados valores de escoamento superficial nas sub-bacias consequência da impermeabilização dos solos, das 33 áreas analisadas 25 possuem percentual de área impermeabilizada superior a 60%, como é possível atestar no Apêndice B.

As consequências da impermeabilização dos solos das sub-bacias podem ser vistas na Tabela 12 abaixo, que apresenta os valores de infiltração e escoamento superficial em cada uma delas.

Tabela 12. Valores de infiltração e escoamento superficial em cada sub-bacia

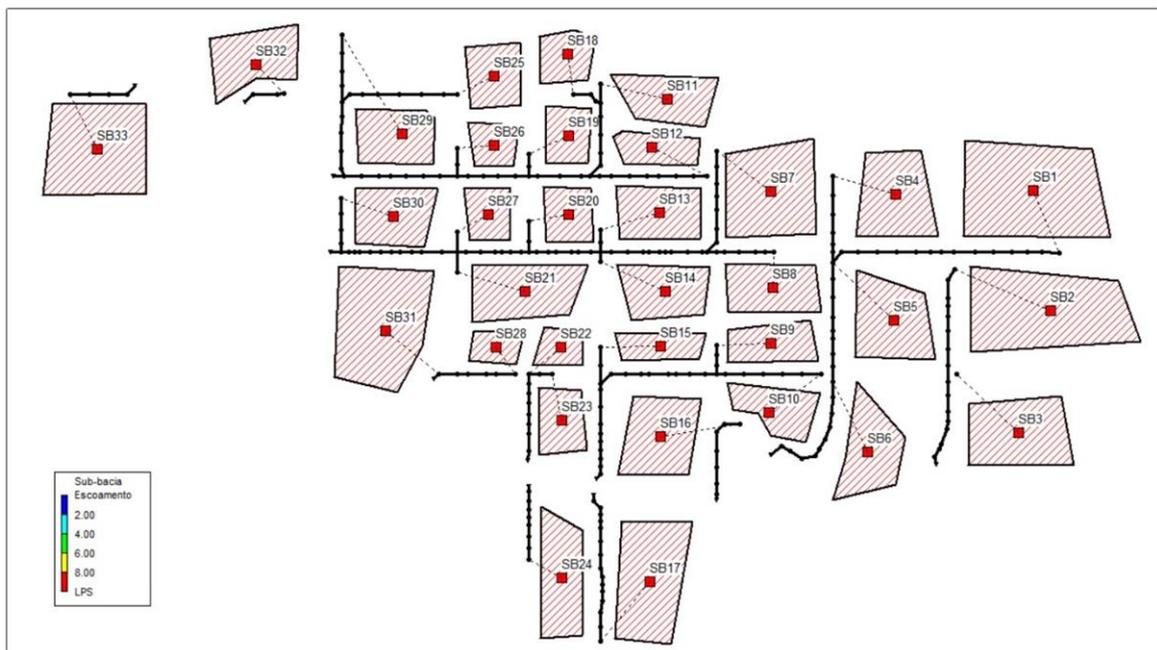
Sub-bacia	Precipitação Total (mm)	Infiltração Total (mm)	Escoamento de Pico (m³/s)	Coefficiente de Runoff
SB1	28,80	7,45	1,26	0,66
SB2	28,80	12,29	2,85	0,52
SB3	28,80	12,73	1,03	0,51
SB4	28,80	6,46	1,59	0,72
SB5	28,80	8,22	1,66	0,67
SB6	28,80	9,40	0,67	0,61
SB7	28,80	5,49	2,42	0,76
SB8	28,80	6,17	0,91	0,73
SB9	28,80	6,67	0,87	0,73
SB10	28,80	11,96	0,68	0,54
SB11	28,80	2,18	1,18	0,88
SB12	28,80	0,91	1,92	0,93
SB13	28,80	1,56	1,41	0,91
SB14	28,80	5,44	0,80	0,76
SB15	28,80	5,96	0,85	0,75
SB16	28,80	11,92	0,91	0,55

SB17	28,80	5,30	2,16	0,76
SB18	28,80	2,71	0,40	0,84
SB19	28,80	4,77	0,85	0,80
SB20	28,80	9,40	0,57	0,64
SB21	28,80	6,00	1,42	0,76
SB22	28,80	3,53	0,55	0,84
SB23	28,80	7,82	0,47	0,69
SB24	28,80	6,99	1,35	0,71
SB25	28,80	2,34	1,15	0,88
SB26	28,80	3,23	0,92	0,85
SB27	28,80	3,59	0,81	0,84
SB28	28,80	4,60	0,65	0,81
SB29	28,80	1,69	3,60	0,90
SB30	28,80	3,06	1,27	0,85
SB31	28,80	4,05	1,13	0,81
SB32	28,80	9,64	3,59	0,63
SB33	28,80	4,54	2,95	0,78

Das 33 áreas estudadas, 24 possuem coeficiente de runoff igual ou superior a 0,70 que segundo Righetto (1998) é característico de áreas urbanas com elevado grau de adensamento. Esses resultados justificam os valores elevados de escoamento superficial e do escoamento de pico.

A Figura 25 apresenta o escoamento superficial nas sub-bacias estudadas na terceira hora de chuva, no momento do escoamento de pico, na qual as áreas em vermelho apresentam escoamento superior a 8,0 m³/s.

Figura 25. Escoamento superficial nas sub-bacias de estudo



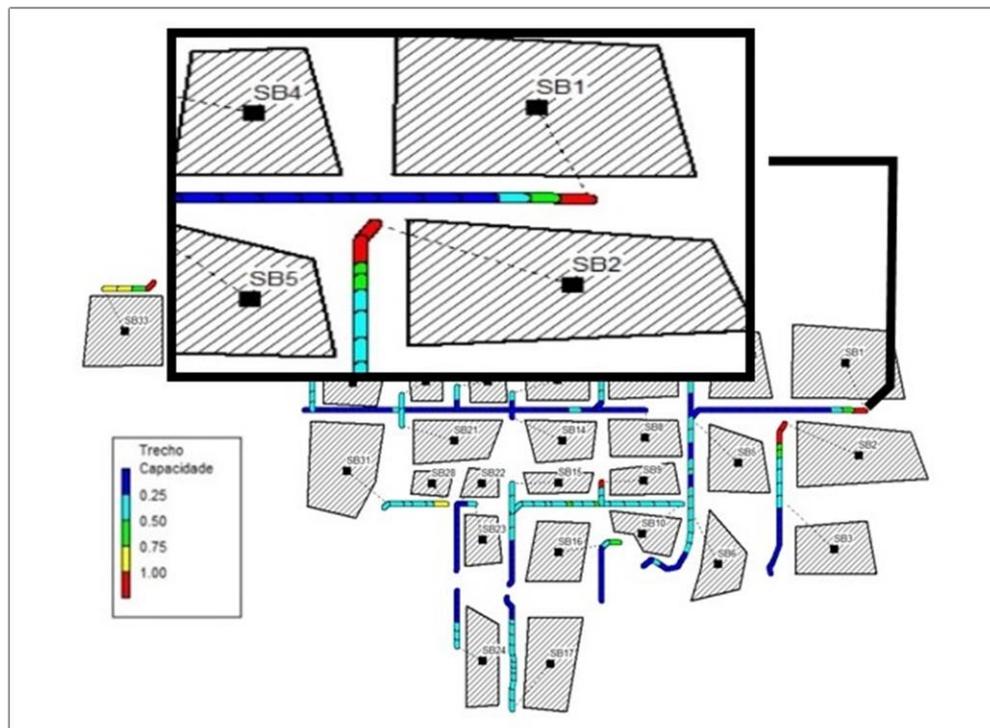
Palmas ainda não possui uma regulação específica para tratar da impermeabilização do solo. Uma alternativa para evitar a impermeabilização excessiva em futuras áreas da cidade é a elaboração de uma Política de Drenagem Urbana Sustentável, que regulamente a drenagem urbana do município incentivando a infiltração das águas pluviais, que estabeleça limites para impermeabilização das propriedades públicas e privadas, e critérios para a sua distribuição no tempo e no espaço, por exemplo, estabelecendo valores máximos de vazão na saídas dos lotes.

Nas regiões já impermeabilizadas, a alternativa é a implantação de dispositivos estruturais que promovam a infiltração das águas pluviais na fonte, no referencial teórico dessa dissertação foram apresentados alguns desses dispositivos. A criação de parques lineares, bacias de infiltração, trincheiras e valas de infiltração retarda o pico o de escoamento retendo uma parcela significativa do seu volume que passa a ser distribuída de forma mais controlada no tempo para os sistemas de captação da microdrenagem.

4.2.2 Capacidade do sistema

De modo geral, o sistema de microdrenagem da sub-bacia opera abaixo da sua capacidade máxima durante a maior parte da chuva de projeto, mesmo no período de escoamento crítico, conforme mostra a Figura 26.

Figura 26. Capacidade do sistema de microdrenagem sem dispositivos LID



As cores dos trechos indicam a capacidade em que estão operando no período de escoamento crítico, alternando do azul escuro que indica operação abaixo dos 25% até o vermelho que indica operação em 100% da capacidade.

Essa capacidade do sistema está associada, entre outros fatores, as grandes dimensões das galerias pluviais principais do sistema de drenagem da sub-bacia, a galeria instalada na Av. Juscelino Kubitschek é composta principalmente por trechos com dois tubos em paralelo com diâmetro de 1,50 m e trechos com rede de tubos triplos de diâmetro de 3,0 m em paralelo. Na Av. LO 3 a maior parte da galeria pluvial é retangular e fechada com altura de 2,0 e largura de base que varia de 3,0 m e 4,0 metros. E na Av. NS a maior parte da galeria pluvial é também retangular e fechada com altura de 2,0 e largura de base de 2,0 m.

No tocante a capacidade do sistema, o problema reside nos trechos iniciais das redes de drenagem que diferente das galerias principais são compostas em sua maioria por condutos com diâmetro relativamente pequeno, variando entre 0,60 e 0,80 m. Esses trechos recebem o escoamento proveniente das quadras, contudo devido aos elevados percentuais de impermeabilização os volumes escoados para essas redes são também elevados.

Como os trechos iniciais da rede não tem a capacidade necessária para captar e transportar o escoamento, as águas pluviais são conduzidas nas próprias vias em grande parte no sentido da Av. Teotônio Segurado. Embora essa avenida seja umas das principais da capital, não possui um sistema de captação de águas pluviais adequado, é possível trafegar grandes extensões de suas vias sem encontrar uma boca-de-lobo ou outro dispositivo de captação.

A Tabela 13 apresenta os condutos que durante o período da chuva de projeto tem sobrecarga em sua capacidade.

Tabela 13. Síntese da sobrecarga nos condutos (em horas)

Condutos	Horas (cheio)			Horas Fluxo Acima do Normal	Horas Capacidade Limitada
	Ambas Extremidades	Montante	Jusante		
TC1	1,22	1,25	1,22	1,27	1,25
TC39	0,13	0,19	0,13	0,06	0,19
TC40	0,44	0,48	0,45	0,05	0,48
TC89	0,22	0,26	0,22	0,05	0,26
TC187	0,65	0,67	0,66	0,03	0,67
TC189	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
TC201	0,37	0,45	0,38	1,14	0,45
TC241	0,01	0,1	0,01	0,1	0,1
TC242	0,41	0,44	0,41	0,44	0,44
TC245	0,01	0,09	0,01	0,09	0,09
TC247	0,51	0,55	0,51	0,05	0,55

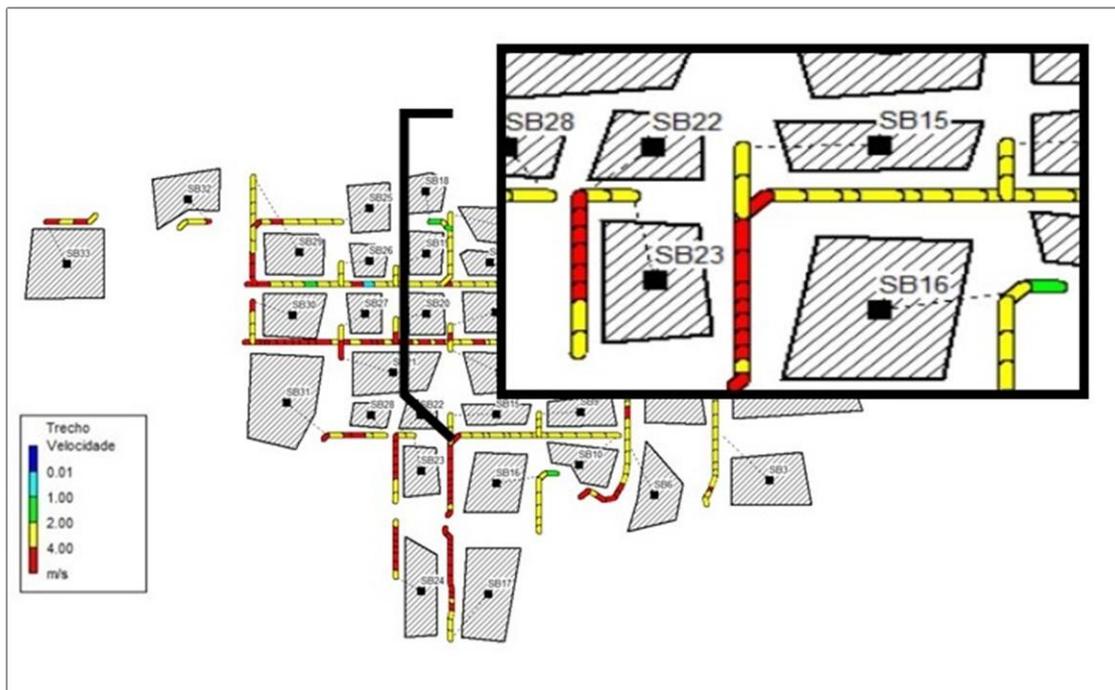
São 11 trechos dos quais 9 são justamente os iniciais das redes de microdrenagem. Por consequência, ocorre o que é tipicamente visto durante as chuvas em Palmas e registrado nas Figuras 9, 10, 11 e 12 no Referencial Teórico, avenidas tomadas pela água e conduzindo o escoamento pelas vias para a Av. Teotônio Segurado que não tem capacidade de captar esse escoamento e passa horas alagada.

4.2.3 Velocidade

Com relação a velocidade máxima admissível em tubulações de drenagem urbana, de acordo com Menezes Filho e Costa (2012) e de acordo com as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (FCTH, 1999) essa velocidade não deve ultrapassar 5,0 m/s, com o objetivo de evitar os processos de abrasão nas tubulações. No Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006) os valores recomendados de velocidades máximas admissíveis para a água em dispositivos com superfície de concreto de cimento Portland são de 4,50 m/s. O Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre desenvolvido pelo Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005) é ainda mais conservador e determina que para tubos de concreto a velocidade máxima admissível deve ser de 4,0 m/s.

A Figura 29 apresenta a classificação das velocidades nos trechos do sistema.

Figura 27. Velocidades nos condutos sem dispositivos LID no sistema



No tocante a velocidade, se o valor de referencial adotado como velocidade máxima admissível é de 5,0 m/s, seguindo a recomendação de Menezes Filho e Costa (2012) e do Município de São Paulo (FCTH, 1999) cerca de 15% das tubulações da rede de microdrenagem estão operando acima da velocidade máxima. Se o valor adotado for 4,0 m/s proposto pelo Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005) cerca de 33% da rede opera acima da velocidade máxima.

Em alguns trechos as velocidades alcançaram valores acima de 8 m/s, todos os resultados das simulações estão no Apêndice C. A velocidade nas tubulações não tem a ver apenas com o volume de escoamento no sistema, mas também com a inclinação dos tubos. Palmas, no entanto, é uma cidade plana e a maioria absoluta dos trechos está com declividade inferior a 5%. Esses valores de velocidade excessiva podem comprometer a integridade das tubulações que ao longo dos anos provavelmente irá apresentar sinais de desgaste por abrasão.

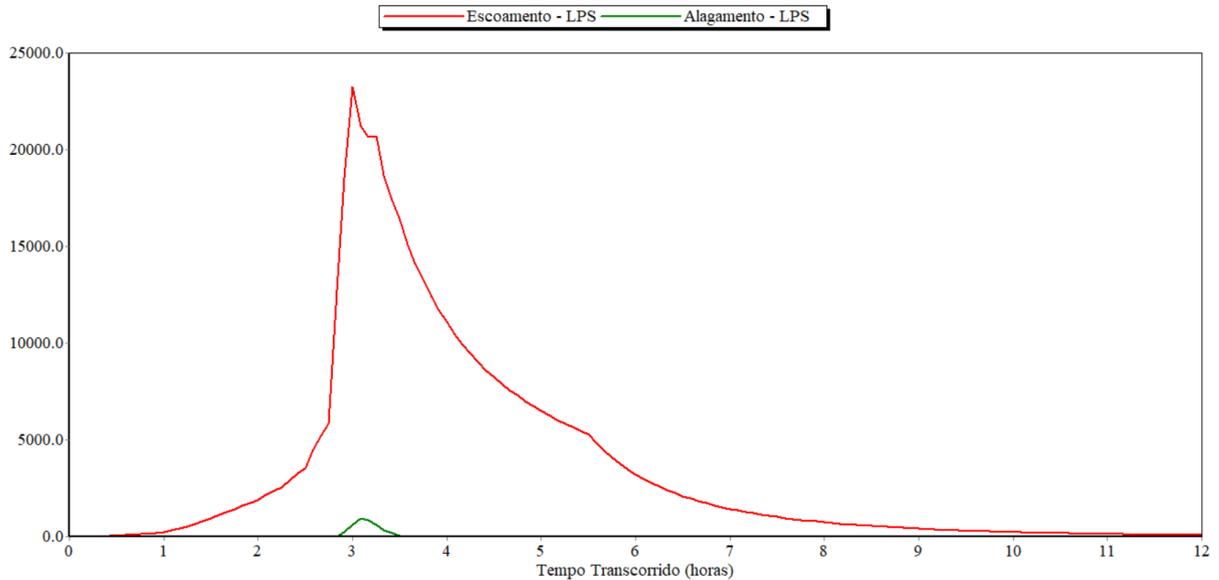
4.3 SIMULAÇÃO DO SISTEMA COM LID

Nesta etapa foi simulada a implantação de dispositivos LID nas sub-bacias. A simulação também foi bem-sucedida, com erros de continuidade referentes ao escoamento superficial e a propagação de vazão com valores de -0,14% e -0,03%, respectivamente.

4.3.1 Escoamento superficial

Na nova simulação o pico de escoamento continua próximo da terceira hora transcorrida, logo, nota-se que apenas os dispositivos instalados não são capazes de retardar o pico de escoamento. Todavia, a simulação apresenta uma redução de 48,11% no pico do escoamento que antes superava os 44 m³/s e agora se mantem nos 23,27 m³/s, bem como redução no pico de alagamento nos trechos do sistema de microdrenagem que agora está em 0,95 m³/s, uma redução de 85,84% em relação aos dos 6,74 m³/s anteriores (Figura 28).

Figura 28. Pico de escoamento e alagamento no sistema



A simulação continua apresentando valores elevados de escoamento superficial nas sub-bacias, mas inferiores quando comparados a simulação anterior. Nenhuma das sub-bacias apresentou coeficiente de runoff superior a 0,79.

Das 33 sub-bacias em 18 passaram a apresentar coeficiente de runoff inferior a 0,60, característico de áreas urbanas moderadamente urbanizadas. Logo, apesar de as LID não reduzirem o processo de urbanização em si, a implantação de medidas de baixo impacto contribui para resgatar características de infiltração da bacia natural ou rural.

A Tabela 14 abaixo, apresenta os valores de infiltração e escoamento superficial em cada uma das sub-bacias nas simulações sem LID e posterior a implantação dos dispositivos LID.

Tabela 14. Valores de infiltração e escoamento superficial em cada sub-bacia

Sub-bacia	Sem LID			Com LID			Aumento na Infiltração (%)	Redução no Escoamento (%)
	Infiltração Total (mm)	Esco. de Pico (m ³ /s)	Runoff	Infiltração Total (mm)	Esco. de Pico (m ³ /s)	Runoff		
SB1	7,45	1,26	0,66	8,96	0,63	0,454	20,27	49,90
SB2	12,29	2,85	0,52	12,89	1,99	0,425	4,88	30,27
SB3	12,73	1,03	0,51	13,25	0,52	0,384	4,08	49,94
SB4	6,46	1,59	0,72	7,8	0,80	0,556	20,74	49,66
SB5	8,22	1,66	0,67	9,08	0,84	0,541	10,46	49,63
SB6	9,40	0,67	0,61	11,46	0,33	0,373	21,91	50,14
SB7	5,49	2,42	0,76	6,52	1,22	0,622	18,76	49,45
SB8	6,17	0,91	0,73	7,02	0,46	0,586	13,78	49,58
SB9	6,67	0,87	0,73	7,69	0,45	0,568	15,29	47,99

SB10	11,96	0,68	0,54	13,66	0,34	0,325	14,21	50,21
SB11	2,18	1,18	0,88	3,44	0,60	0,711	57,80	48,59
SB12	0,91	1,92	0,93	1,97	1,30	0,792	116,48	32,14
SB13	1,56	1,41	0,91	2,67	0,79	0,753	71,15	43,87
SB14	5,44	0,80	0,76	6,41	0,40	0,594	17,83	49,54
SB15	5,96	0,85	0,75	7,31	0,43	0,558	22,65	49,53
SB16	11,92	0,91	0,55	12,75	0,46	0,43	6,96	49,52
SB17	5,30	2,16	0,76	7,13	1,09	0,56	34,53	49,69
SB18	2,71	0,40	0,84	4,36	0,21	0,613	60,89	48,88
SB19	4,77	0,85	0,80	6,34	0,44	0,614	32,91	48,68
SB20	9,40	0,57	0,64	10,96	0,29	0,444	16,60	49,75
SB21	6,00	1,42	0,76	7,28	0,73	0,605	21,33	48,43
SB22	3,53	0,55	0,84	5,18	0,28	0,611	46,74	48,90
SB23	7,82	0,47	0,69	9,43	0,24	0,47	20,59	48,04
SB24	6,99	1,35	0,71	9,7	0,68	0,45	38,77	49,93
SB25	2,34	1,15	0,88	3,63	0,62	0,726	55,13	46,41
SB26	3,23	0,92	0,85	4,77	0,47	0,667	47,68	48,37
SB27	3,59	0,81	0,84	4,78	0,42	0,671	33,15	48,41
SB28	4,60	0,65	0,81	6,45	0,34	0,579	40,22	47,63
SB29	1,69	3,60	0,90	2,86	2,16	0,772	69,23	40,05
SB30	3,06	1,27	0,85	4,21	0,65	0,694	37,58	48,78
SB31	4,05	1,13	0,81	5,65	0,57	0,621	39,51	49,37
SB32	9,64	3,59	0,63	10,3	1,94	0,561	6,85	45,79
SB33	4,54	2,95	0,78	4,77	1,56	0,681	5,07	47,20

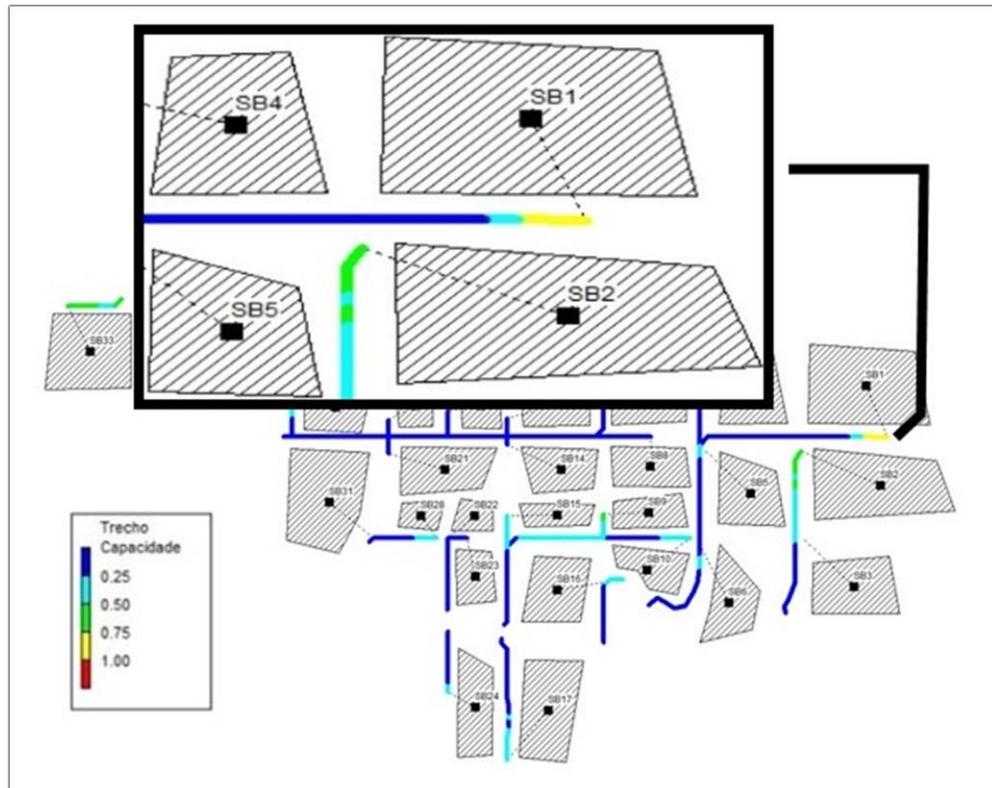
O planejamento estratégico e sustentável do espaço urbano é uma das possíveis medidas que solucionem o problema de impermeabilização excessiva do solo. A elaboração e implantação de instrumentos legislativos bem delineados e que refletem a realidade de cada localidade é um dos produtos desse planejamento e pode servir para controlar o desenvolvimento urbano. Contudo, conforme menciona Melo (2007) em áreas já urbanizadas e degradadas a implantação exclusiva dessas medidas de caráter não-estrutural, em geral, não garante solução aos problemas do manejo das águas pluviais. Logo, as medidas estruturais, como as utilizadas nessa simulação, aliadas as ferramentas e políticas de regulamentação podem mitigar os impactos nas bacias urbanizadas.

Os dispositivos LID implantados na simulação mitigaram parte dos efeitos da impermeabilização compensando-o com o aumento pontual da infiltração no solo, conforme demonstra a Tabela 14 com redução do coeficiente de *runoff*. Outros autores já discutiram sobre esse tema, como Oliveira, Barbassa e Gonçalves (2016), Melo et al. (2016), Nunes et al. (2017).

4.3.2 Capacidade do sistema

A simulação de implantação das LID na simulação gerou impacto significativo na capacidade do sistema. Os trechos iniciais que compõem a rede de microdrenagem continuam atuando com sobrecarga durante o escoamento crítico, conforme indica a Figura 29.

Figura 29. Capacidade do sistema de microdrenagem com dispositivos LID



Contudo, apenas 5 trechos no total apresentam sobrecarga no momento do escoamento críticos, diferente dos 11 trechos da simulação anterior. A implantação das trincheiras e das células de biorretenção na microbacia do Brejo Comprido resultou em reduções nos volumes de escoamento do sistema de microdrenagem, a síntese das vazões nos trechos está no Apêndice D.

A Tabela 15 abaixo apresenta a síntese da vazão de alguns trechos representativos do sistema de microdrenagem da microbacia do Córrego Brejo Comprido nas duas simulações.

Tabela 15. Síntese da vazão dos trechos

Trecho	Sem LID			Com LID		
	Vazão Máxima (m ³ /s)	Velocidade Máxima (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)	Vazão Máxima (m ³ /s)	Velocidade Máxima (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)
TC65	0,67	3,02	0,33	0,33	2,48	0,23
TC66	0,67	3,27	0,31	0,33	2,68	0,22
TC64	0,67	2,82	0,34	0,33	2,31	0,24
TC67	0,67	2,65	0,36	0,33	2,17	0,25
TC63	0,68	3,27	0,43	0,34	2,70	0,30
TC62	0,68	3,14	0,44	0,34	2,60	0,31
TC114	1,34	3,34	0,17	0,67	2,74	0,12
TC111	1,34	5,42	0,20	0,67	4,43	0,14
TC112	1,34	4,15	0,15	0,67	3,26	0,11
TC113	1,34	4,21	0,15	0,67	3,31	0,11
TC110	1,35	5,21	0,20	0,67	4,25	0,14
TC109	1,35	5,14	0,28	0,67	4,21	0,20
TC108	1,35	4,63	0,30	0,67	3,80	0,21
TC107	1,35	3,55	0,37	0,67	2,92	0,26
TC20	1,57	1,70	0,21	0,79	1,38	0,15

A Tabela 16 apresenta o percentual de redução dos diferentes parâmetros apresentados acima. Houve redução de até 50% na vazão máxima na rede de microdrenagem e de 30% na profundidade da lâmina de água.

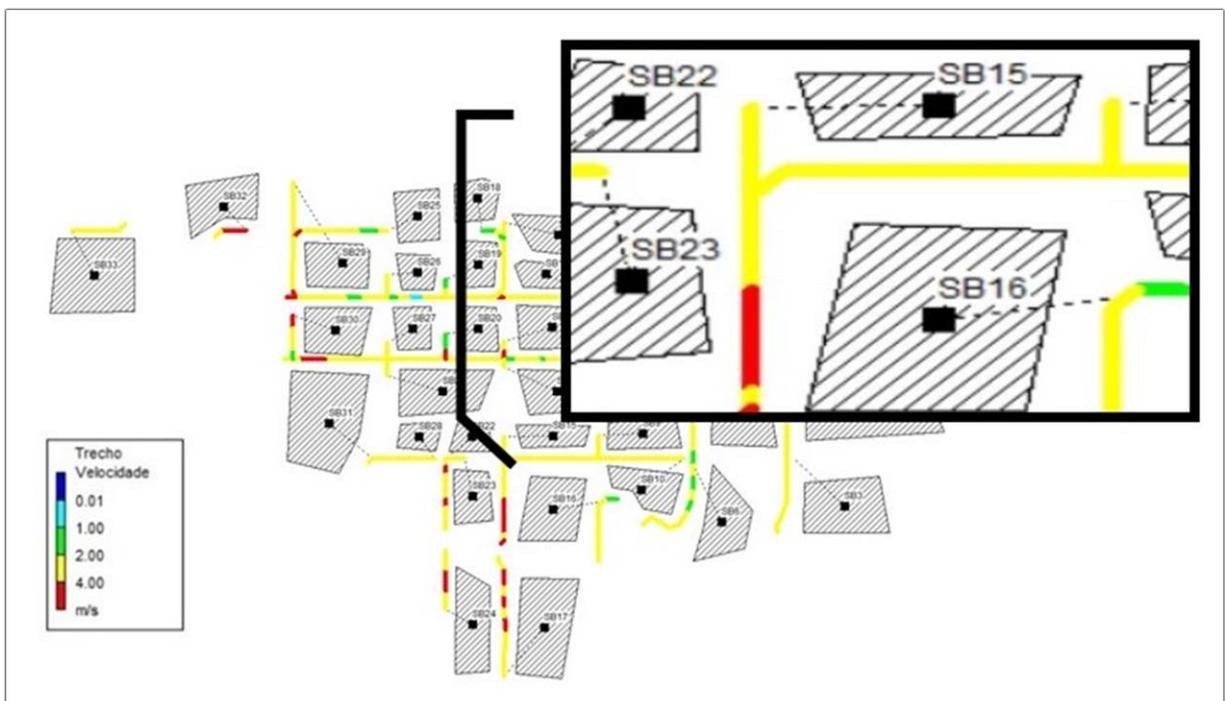
Tabela 16. Percentual de redução nas simulações

Trecho	Redução Vazão Máxima (%)	Redução Velocidade Máxima (%)	Redução Altura de Lâmina Máxima (%)
TC65	50,31	17,88	30,30
TC66	50,31	18,04	29,03
TC64	50,29	18,09	29,41
TC67	50,29	18,11	30,56
TC63	50,28	17,43	30,23
TC62	50,26	17,20	29,55
TC114	49,98	17,96	29,41
TC111	49,98	18,27	30,00
TC112	49,98	21,45	26,67
TC113	49,98	21,38	26,67
TC110	49,97	18,43	30,00
TC109	49,97	18,09	28,57
TC108	49,97	17,93	30,00
TC107	49,96	17,75	29,73
TC20	49,85	18,82	28,57

4.3.3 Velocidade

No tocante a velocidade, embora a Tabela 16 apresente redução de até 13% em alguns trechos da rede de microdrenagem, durante o pico do escoamento a velocidade em 16% da rede continua superior aos 4,0 m/s proposto pelo Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre (DEP/IPH, 2005) e aos 5,0 m/s admitidos por Menezes Filho e Costa (2012) e pelo Município de São Paulo (FCTH, 1999) (Figura 30).

Figura 30. Velocidades nos condutos com dispositivos LID no sistema



Na primeira simulação 166 trechos apresentavam velocidade abaixo dos 4,0 m/s, nesta simulação o número é de 210. Um aumento de 26,5% nos trechos que passaram a operar com velocidade máxima dentro do ideal. Todos os resultados das velocidades estão no Apêndice D.

5 CONCLUSÕES

A implantação de dispositivos LID foi uma alternativa pontual de aumento de infiltração no sistema de microdrenagem, houve considerável diminuição nas vazões nas tubulações, na profundidade das lâminas de água nos condutos e na velocidade do escoamento.

Os objetivos propostos foram alcançados e os resultados atenderam às expectativas previstas, as principais dificuldades tiveram relação com a ausência de dados precisos sobre a infraestrutura de drenagem que é um limitante para que as análises sejam mais precisas e se aproximem da realidade local. Essa dificuldade do setor de manejo das águas pluviais não é exclusiva da capital do estado, em muitos municípios a realidade é semelhante.

As medidas implantadas na simulação são de fato eficientes na compensação dos problemas oriundos da urbanização, principalmente a impermeabilização dos solos. São medidas pontuais que mesmo representando uma área pequena da microbacia aumentam sua capacidade de infiltração. Porém, o ideal é que essas medidas deixem de ser apenas compensatórias e passem a ser integradas ao planejamento e desenvolvimento urbano da cidade, com a finalidade de se alcançar um crescimento urbano hidrológicamente funcional e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ALAMY FILHO, J. E. et al. Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 257-272, mai./ago. 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160206> >. Acesso em: 04 abr. 2019.

ALMEIDA, M. F. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço**: estudo de caso em São Carlos. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

ANDRADE, A. DE M. **Elaboração de Interface de Modelação e Estimativa dos Coeficientes da Equação de Chuvas Intensas para Palmas, TO**. 2014. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.

ARAÚJO, C. M. et al. O Parque Cesamar e a integridade ambiental do Córrego Brejo Comprido em Palmas-TO. **Interface**, n.6, p. 49-61, maio 2013. Disponível em: < <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/492> >. Acesso em: 24 mar. 2019.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M; GOLDENFUM, J.A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v5n3.p21-29> >. Acesso em: 04 abr. 2019.

ARRAIS, M. A. **Um estudo para a preservação e uso sustentável da área verde urbana do córrego Brejo Comprido em Palmas-TO**. 2009. 243 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BABAEI, S.; GHAZAVI, R.; ERFANIAN, M. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 105, p. 3-11, jun. 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.02.002> >. Acesso em: 20 fev. 2019.

BARROS, A. M.; NEVES, M. G. F. P.; HENRIQUE, D. C. Variabilidade e causas na geração de vazão em bacias urbanas: estudo de caso do riacho do Sapo, Maceió-AL. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 220-231, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v4i2.15636> >. Acesso em: 10 nov. 2019.

BICHANÇA, M. F. **Bacias de retenção em zonas urbanas como contributo para a resolução de situações extremas**: cheias e secas. 2006. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Gasto Público em Saneamento Básico. **Relatório de Aplicações do Governo Federal e Fundos Financiadores 2015**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017.

BRITO, A. L. **Saneamento ambiental nos Planos Diretores Municipais**. In: SANTOS JUNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. (orgs.). Os planos diretores municipais pós-estatuto da cidade: balanço crítico e perspectivas Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2011.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. OSF Preprints, 2018. Disponível em: < <https://osf.io/84b92/> >. Acesso em: 08 nov. 2019.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia**. 2006. Disponível em: < <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf> >. Acesso em: 06 abr. 2017.

COELHO, G. A. **Utilização de bacias de detenção em planos diretores de macrodrenagem**. 2010. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

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

COSTA, H. S. M.; CAMPANTE, A. L. G.; ARAÚJO, R. P. Z. **A dimensão ambiental nos Planos Diretores de municípios brasileiros: um olhar panorâmico sobre a experiência recente**. In: SANTOS JUNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. (orgs.). Os planos diretores municipais pós-estatuto da cidade: balanço crítico e perspectivas Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2011.

DANIEL JÚNIOR, J. J. **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2013.

DAVIS, A. Field performance of bioretention: hydrology impacts. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 90-95, 2008. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(90\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(90)) >. Acesso em: 04 abr. 2019.

FEITOSA, F. F. S. **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2015.

FERREIRA, L. T. L. M. **Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem.** 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2017.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 21-26 abr. 2007, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <
<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf> >.
 Acesso em: 10 nov. 2019.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH. Prefeitura do Município de São Paulo. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** 1999.

GOMES, H. P. et al. (Coord.). **Manual e Programa do SWWM - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana.** Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, Brasil. 2012.

GURGEL, G. M. **Crescimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem de uma bacia em Natal/RN.** 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros.** Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

KAWATOKO, I. E. S. **Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não-estruturais para gestão das águas urbanas em escala de lote.** 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas.** 1995. 213 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

LOPES, R. C.; SOUZA, L. B. A questão das inundações em Palmas (TO), segundo a percepção de moradores e usuários: contribuição ao processo preventivo por meio da educação ambiental. **Interface (Porto Nacional)**, n. 5, p. 35-48, 2012.

LOURENÇO, R. R. A. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis.** 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2014.

MARINHO FILHO, G. M. et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais.** Canoas, v. 6, n. 2, p. 35- 47, 2012.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas.** 2017. 197f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MELLO, N. A. As Políticas Públicas no Processo de Organização do Espaço; A questão urbana e o meio ambiente. In: **Anais do 4º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente**. Cuiabá: Editora UFMT, 1993.

MELO, M. J. V. **Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda**. 2007. 172 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

MELO, T. A. T. et al. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul./set. 2016.

MELO, T.A.T. **Jardim da chuva**: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas. 2011. 178 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2011.

MENDES, F. C. **Diretrizes ao planejamento urbano da bacia do Córrego Suçuapara (Palmas-TO) com base em sua resposta hidrológico-hidráulica à diferentes cenários de ocupação**. 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

MENDES, H. C.; MARCO, G.; ANDRADE, J. P. M.; SOUZA, S. A. **Reflexões sobre os impactos das inundações e propostas de políticas públicas mitigadoras**. 2004. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MENEZES FILHO, F. C. M. M.; COSTA, A. R. Verificação do dimensionamento das galerias de águas pluviais em uma sub-bacia do Córrego Botafogo na cidade de Goiânia-GO. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n. 4, p. 1-11, 2012.

MIGUEZ, M. G., MAGALHÃES, L. P. C., Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach. In: PINA FILHO, A. C., PINA, A. C. (eds), **Methods and Techniques in Urban Engineering**. India: Intech, 2010.

MÜLLER, A. S. **Aplicabilidade de medidas não-estruturais no controle de cheias urbanas: estudo de caso Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira**. 2011. 235 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Joinville, 2011.

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**, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 3 - 21, jan-jun 2017.

OLIVEIRA, A. P.; BARBASSA, A. P.; GONÇALVES, L. M. Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos – SP. **Cidades Verdes**, v. 4, n. 9, p. 87-101, 2016.

OLIVEIRA, W.L. M. **Estudo crítico sobre o eia/rima do parque Cesamar com relação às medidas mitigadoras previstas após a sua implantação**. 1998. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 1998.

ONEDA, T. M. S. **Planos Diretores de Drenagem Urbana: uma análise comparativa entre planos de países desenvolvidos e em desenvolvimento.** 2018. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2018.

PALMAS, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO.** Anexo III ao Decreto nº 700, de 15 de janeiro de 2014. v. III: Drenagem Urbana. Palmas. 2014.

PALMAS. Lei Complementar Nº 400, de 2 de abril de 2018. Diário Oficial do Município de Palmas, Ano IX, Suplemento ao Diário Nº 1.969. Palmas, TO, abr.2018.

PASCHOAL, R. S. **Usos da água e necessidades de tratamento para consumo humano.** 2012. 56 p. Dissertação (Graduação em Engenharia) – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

PEREIRA, F. L. et al. **Política de Drenagem Urbana no Brasil.** Água em Ambientes Urbanos. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005. (Apostila).

PEREIRA, M.C.S. **Relação de eficiência e custos dos reservatórios de retenção e pavimento permeável na bacia hidrográfica do rio Pirajuçara.** 2014. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PEREIRA, P. P.; ITO, A. H. Efeitos da urbanização e soluções sustentáveis para o sistema de drenagem. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 12, n. 1, p. 183-195, 2017. Disponível em: < <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2254> >. Acesso em: 27 jan. 2019.

PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. **Orientações básicas para drenagem urbana.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana.** Manual de Drenagem Urbana, v. 6. Porto Alegre, 2005.

PORTO, R. L. L. **Escoamento Superficial Direto.** In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. 2000. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental.** Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas - relatório técnico parcial. MCT/INPE. São José dos Campos: INPE, 2000. 60p.

RIBEIRO, H.; VARGAS, H. C. Urbanização, globalização e saúde. **Revista USP**, São Paulo, n. 107, p. 13-26, out./dez. 2015. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/115110/112815> >. Acesso em: 26 jan. 2019.

RIGHETTO, A. M. (coord). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSSMAN, L. A. **Manual do usuário - EPA SWMM 5.0 - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana.** Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Brasil: UFPB, 2010.

SANTOS, J. P. M. **Gestão de águas pluviais urbanas: mudança do paradigma nos sistemas públicos de drenagem. Um caso aplicado à cidade do porto.** 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5-18, out./dez. 2005.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN). **Serviços de consultoria para elaboração do plano das bacias hidrográficas do entorno de Palmas-Tocantins** (Estratégias de usos das águas superficiais e subterrâneas). Palmas, 2004.

SHINMA, T. A. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão.** 2011. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SILVA, C. F. R.; VARGAS, M. A. M. Sustentabilidade Urbana: Raízes, Conceitos e Representações. **Scientia Plena**, v. 6, n. 3, p. 1-6, mar. 2010. Disponível em: < <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/158/32> >. Acesso em: 26 jan. 2019.

SILVA, M. K. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre.** 2009. 88 p. Dissertação (Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, N. R. L. et al. Aplicação do modelo de gestão de drenagem urbana (SWMM) na Sub-Bacia 2 da Estrada Nova, em Belém do Pará. **Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 1-17, ago./dez. 2017. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5892/st.v1i1.4043> >. Acesso em: 20 fev. 2019.

SILVA, R. C. N.; MACÊDO, C. S. Secretaria de Educação a Distância – UFRN. In: Secretaria de Educação a Distância – UFRN. **Geografia Urbana: a urbanização mundial.** 2009.

SILVA, R. S.; PAES, A. T. Teste de concordância Kappa. **Educação Continuada em Saúde Einstein**, v. 10, n. 4, p. 165-166, 2012.

SILVA, R.T.; PORTO, M.F.A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 47, p. 129-145, abr. 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142003000100007> >. Acesso em: 20 fev. 2019.

SILVA, S. R.; ARAÚJO, G. R. S. Algoritmo para Determinação da Equação de Chuvas Intensas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6 n. 5, p. 1371-1383, 2013.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p.157-168, abr. 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v12n2.p157-168> >. Acesso em: 05 abr. 2019.

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.

SOUZA, R. M. et al. Análise da abrangência da Bacia do Córrego Brejo Comprido, Palmas-TO, a partir dos principais usos da água. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 17-22 nov. 2013, Bento Gonçalves. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: < <http://eventos.abrh.org.br/xxsbrh/> >. Acesso em: 25. fev. 2019.

SOUZA, R. M. S.; FIGUEROA, F. E. V. Análise de variáveis aplicada à gestão de recursos hídricos – caso de estudo da microbacia do córrego Brejo Comprido, Palmas – TO. **Rev. Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 303-319, jul./set. 2012.

SOUZA, R. M.; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.5216/reec.v5i2.20176> >. Acesso em: 20 fev. 2019.

SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 58-72, 2013.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 162-175, 2013.

TAYLOR, A. C. WONG, T. H. F. **Non-structural stormwater quality best management practices: An overview of their use, value, cost an evaluation.** Technical Report: 02/11. CRC for Catchment Hydrology, Melbourne. Disponível em < <http://www.catchment.crc.org.au> >. Acesso em: 27 jan. 2019.

TOMAZ, P. **Cálculo Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte.** 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2013.

TROWSDALE, S. A.; SIMCOCK, R. Urban stormwater treatment using bioretention. **Journal of Hydrology**, v. 397, p. 167-174, 2011.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. In: TUCCI, C. E. M. BERTONI, J. C. (org.). **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, 2003.

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

TUCCI, C. E. M. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas.** São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica.** Ministério do Meio Ambiente. SQA. – Brasília: MMA, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 1999.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7 n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002. Disponível em: < <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=99&SUMARIO=1583> >. Acesso em: 27 jan. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 2002.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)**. New York: United Nations, 2019.

VASCO, J. R. J. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

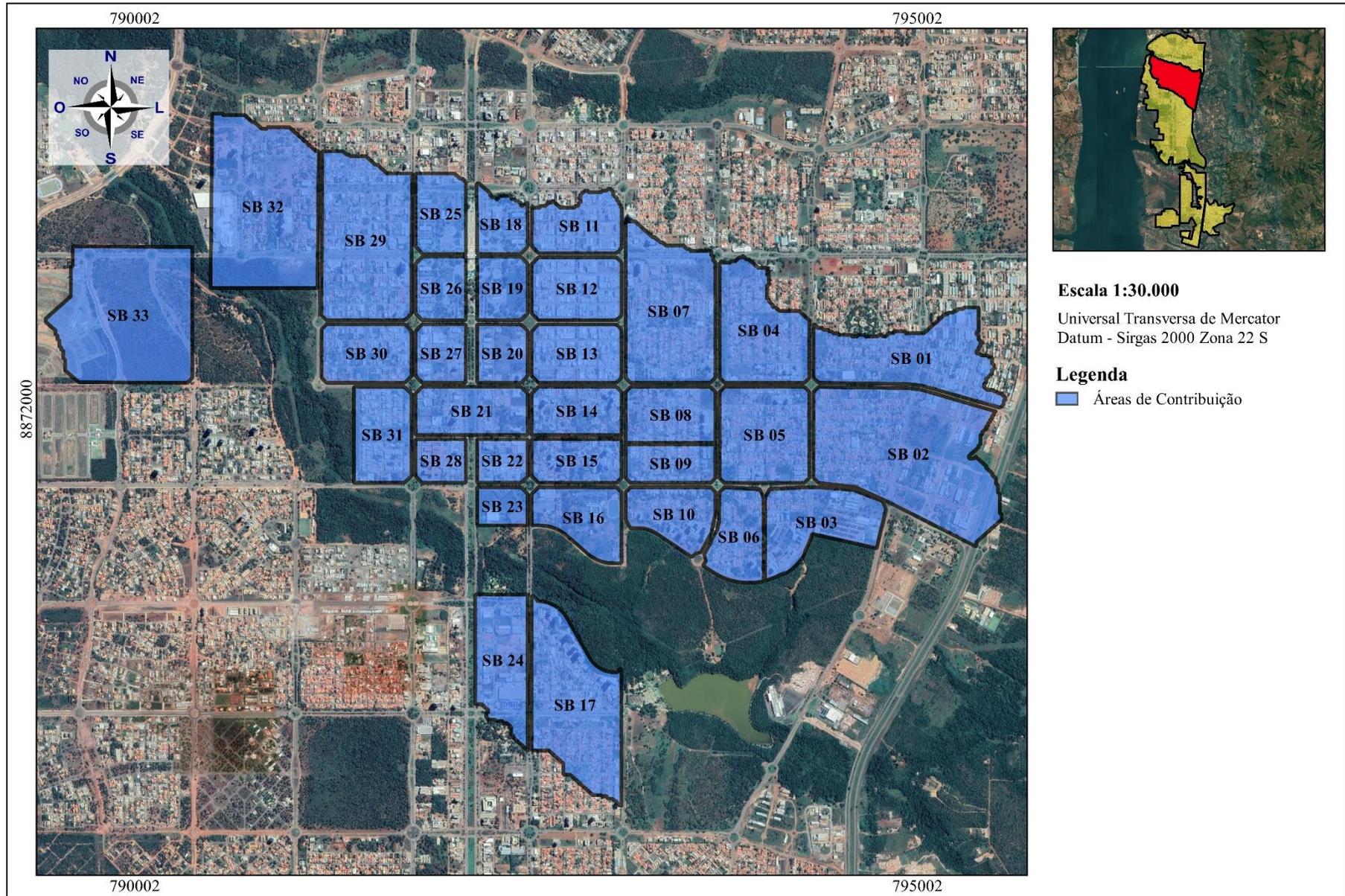
WAIKAR, M. L.; UNDEGAONKAR N. U. Urban Flood Modeling by using EPA SWMM 5. **SRTM University's Research Journal of Science**, v. 1, n. 1, p. 73-82, abr. 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/282655574_Urban_Flood_Modeling_by_using_EP_A_SWMM_5 >. Acesso em: 20 fev. 2019.

ZANANDREA, F. **Avaliação de técnicas de baixo impacto no controle de impactos hidrológicos em uma bacia urbana em consolidação**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ZANELLA, C.B.; BERNARDI, E.C.S. Eficiência do telhado verde na retenção de água. In: Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, 3. 05-06 nov. 2014, Passo Fundo, RS. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: < <https://www.imed.edu.br/Comunicacao/Eventos/Hotsite/iii-seminario-nacional-de-construcoes-sustentaveis/artigos-3--sncs---issn-2317---5052> >. Acesso em: 04 abr. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MAPA DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO



APÊNDICE B – PARÂMETROS ADOTADOS NAS SUB-BACIAS

Tabela 17. Parâmetros adotados nas sub-bacias

Sub	Área (Ha)	Largura (m)	W (m)	Cota Alta	Cota Baixa	%Declividade	%Impermeável	n-Impermeável	n-Permeável	Impermeável PA	Permeável PA	% A imp s/ arm	%Propagação	CN
Sub 01	42,86	1407,02	304,65	288,208	280,208	0,57	62,99	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	86,75
Sub 02	84,42	1018,4	828,95	288,307	276,712	1,14	47,58	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	82,46
Sub 03	29,19	703,1	415,12	276,637	271,145	0,78	46,61	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	81,85
Sub 04	35,58	803,5	442,84	279,559	271,715	0,98	66,42	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,75
Sub 05	34,81	611,1	569,67	277,56	270,065	1,23	60,74	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	85,82
Sub 06	18,46	750,5	246,00	270,813	267,136	0,49	56,90	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	84,71
Sub 07	51,45	880,2	584,55	273,974	262,656	1,29	69,85	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	88,79
Sub 08	20,32	799,4	254,15	270,217	262,974	0,91	67,63	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,93
Sub 09	13,92	301,6	461,53	269,263	261,704	2,51	64,65	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,27
Sub 10	18,79	749	250,91	266,531	260,353	0,82	49,08	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	82,41
Sub 11	19,13	450,6	424,49	266,077	262,878	0,71	83,48	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	93,05
Sub 12	22,68	358,1	633,46	265,703	255,505	2,85	90,78	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	95,21
Sub 13	20,96	543,8	385,47	261,843	253,805	1,48	86,76	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	94,00
Sub 14	17,39	813,8	213,63	262,207	254,559	0,94	70,29	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	88,68
Sub 15	15,82	570,1	277,46	260,889	253,825	1,24	68,75	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,91
Sub 16	20,67	458	451,23	258,859	247,449	2,49	47,29	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	82,08
Sub 17	51,56	1301	396,32	261,373	241,26	1,55	70,75	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	88,88
Sub 18	11,72	835,25	140,33	263,405	261,624	0,21	81,32	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	92,04
Sub 19	12,82	423,5	302,69	261,467	250,021	2,70	72,42	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	89,52
Sub 20	11,72	420,7	278,60	252,843	248,053	1,14	56,04	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	85,02
Sub 21	21,69	331,85	653,51	253,389	242,067	3,41	67,24	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,96

Sub	Area (Ha)	Largura (m)	W (m)	Cota Alta	Cota Baixa	%Declividade	%Impermeável	n-Impermeável	n-Permeável	Impermeável PA	Permeável PA	% A imp s/ arm	%Propagação	CN
Sub 22	8,83	418,5	211,11	252,834	248,637	1,00	77,32	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	91,19
Sub 23	7,72	258,6	298,69	251,62	235,988	6,04	59,31	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	86,16
Sub 24	27,63	620,1	445,63	255,225	248,496	1,09	64,48	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	87,27
Sub 25	16,07	400,23	401,43	259,198	252,877	1,58	83,12	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	92,52
Sub 26	12,81	447,21	286,43	258,157	245,461	2,84	79,11	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	91,27
Sub 27	11,72	377,2	310,63	246,942	240,502	1,71	77,24	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	91,03
Sub 28	8,83	232,5	379,92	247,686	240,604	3,05	72,30	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	89,81
Sub 29	57,60	840,7	685,19	251,663	231,497	2,40	86,09	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	93,74
Sub 30	20,96	652,3	321,30	239,643	228,404	1,72	79,46	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	91,73
Sub 31	22,25	715,9	310,77	240,579	233,872	0,94	75,63	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	90,27
Sub 32	70,14	550,9	1273,15	241,7	220,492	3,85	55,30	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	83,87
Sub 33	70,32	975	721,27	229,078	221,136	0,81	73,09	0,011	0,15	1,27	2,54	25	100	90,05

Obs.

W – Largura representativa da sub-bacia (m);

%Impermeável – Porcentagem da área superficial impermeável (%);

n-Impermeável – n de Manning para escoamento superficial na parcela da sub-bacia impermeável;

n-Permeável – n de Manning para escoamento superficial na parcela da sub-bacia permeável;

PA-Impermeável – Profundidade do armazenamento em depressão na parcela impermeável da sub-bacia (mm);

PA-Permeável – Profundidade do armazenamento em depressão na parcela permeável da sub-bacia (mm);

% A imp s/ arm – Porcentagem da área impermeável sem armazenamento de depressão (%).

APÊNDICE C – SÍNTESE DA VAZÃO NOS TRECHOS SEM LID

Trecho	Vazão Máx. (m³/s)	Vel. Máx. (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)	Trecho	Vazão Máx. (m³/s)	Vel. Máx. (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)
TC1	0,60	2,31	1	TC127	0,65	4,50	0,33
TC2	0,61	2,68	0,76	TC128	0,65	4,11	0,25
TC3	0,60	3,34	0,39	TC129	0,65	3,61	0,28
TC4	0,59	2,19	0,21	TC130	1,75	4,53	0,27
TC5	0,58	2,47	0,19	TC131	2,41	3,51	0,59
TC6	0,57	1,89	0,23	TC132	2,41	2,80	0,71
TC7	0,57	2,64	0,18	TC133	2,40	1,96	0,38
TC8	0,57	2,85	0,17	TC134	2,40	2,14	0,35
TC9	0,57	2,7	0,18	TC135	2,40	2,79	0,29
TC10	0,57	2,59	0,18	TC136	2,39	2,96	0,28
TC11	0,57	2,31	0,2	TC137	2,39	5,04	0,19
TC12	0,57	3,11	0,16	TC138	0,91	2,57	0,16
TC13	0,57	3,47	0,15	TC139	0,90	2,92	0,14
TC14	0,57	1,81	0,23	TC140	0,90	2,97	0,14
TC15	1,58	2,07	0,27	TC141	0,90	3,68	0,11
TC16	1,57	2,07	0,27	TC142	0,90	2,08	0,19
TC17	1,57	2,07	0,27	TC143	0,90	3,25	0,12
TC18	1,57	1,52	0,22	TC144	3,28	4,06	0,13
TC19	1,57	1,38	0,24	TC145	3,28	2,37	0,23
TC20	1,57	1,7	0,21	TC146	3,27	1,61	0,34
TC21	3,63	2,19	0,41	TC147	3,27	3,99	0,14
TC22	3,63	2,59	0,35	TC148	3,27	3,66	0,15
TC23	3,63	3,82	0,24	TC149	3,27	3,48	0,16
TC24	3,63	2,49	0,37	TC150	3,27	2,13	0,26
TC25	3,63	2,74	0,33	TC151	3,27	5,06	0,11
TC26	3,63	4,31	0,21	TC152	3,27	3,15	0,17
TC27	3,63	2,79	0,33	TC153	3,27	2,69	0,20
TC28	3,63	2,33	0,39	TC154	5,25	3,89	0,22
TC29	4,24	3,33	0,32	TC155	5,25	4,20	0,18
TC30	4,24	2,25	0,47	TC156	5,25	2,82	0,27
TC31	4,24	3,74	0,28	TC157	5,25	4,32	0,17
TC32	4,24	2,51	0,42	TC158	5,25	3,02	0,25
TC33	4,24	4,35	0,24	TC159	5,25	5,12	0,15
TC34	4,24	5,3	0,2	TC160	5,25	4,25	0,18
TC35	4,24	4,31	0,25	TC161	5,70	3,91	0,18
TC36	4,24	5,43	0,2	TC162	5,70	3,05	0,23
TC37	4,24	2,86	0,37	TC163	5,70	4,96	0,14
TC38	4,24	5,42	0,2	TC164	5,70	4,58	0,16
TC39	2,57	3,56	1	TC165	5,70	4,47	0,16
TC40	1,85	2,58	1	TC166	5,70	3,88	0,18
TC41	1,87	2,91	0,57	TC167	5,70	5,29	0,13
TC42	1,87	1,97	0,8	TC168	7,46	3,56	0,26
TC43	1,86	3,97	0,31	TC169	7,46	4,47	0,21
TC44	1,84	2,57	0,43	TC170	7,46	4,36	0,21
TC45	1,84	3,54	0,34	TC171	7,46	5,39	0,17
TC46	1,83	3,58	0,33	TC172	7,46	5,49	0,17
TC47	1,82	2,58	0,18	TC173	7,46	4,82	0,19
TC48	1,82	3,14	0,15	TC174	7,46	5,73	0,16

TC49	1,82	3,7	0,12	TC175	7,46	7,40	0,13
TC50	1,82	3,8	0,12	TC176	7,46	6,38	0,15
TC51	1,81	3,37	0,13	TC177	7,46	6,62	0,14
TC52	1,81	4,47	0,1	TC178	7,46	5,07	0,18
TC53	1,81	2,69	0,17	TC179	8,63	4,39	0,25
TC54	1,81	2,8	0,16	TC180	1,41	3,23	0,30
TC55	0,91	1,96	0,58	TC181	1,41	5,49	0,20
TC56	0,91	2,57	0,46	TC182	0,79	3,87	0,24
TC57	0,91	3,13	0,14	TC183	0,57	2,42	0,34
TC58	0,91	3,15	0,14	TC184	0,57	5,50	0,15
TC59	0,91	3,07	0,14	TC185	0,80	2,46	0,33
TC60	0,91	3,19	0,13	TC186	1,42	4,32	0,33
TC61	0,91	3,63	0,12	TC187	0,69	2,66	1,00
TC62	0,68	3,14	0,44	TC188	0,69	3,12	0,74
TC63	0,68	3,27	0,43	TC189	0,70	2,72	0,90
TC64	0,67	2,82	0,34	TC190	0,68	3,89	0,40
TC65	0,67	3,02	0,33	TC191	0,67	3,82	0,39
TC66	0,67	3,27	0,31	TC192	0,66	3,13	0,32
TC67	0,67	2,65	0,36	TC193	0,66	2,60	0,36
TC68	1,25	2,6	0,59	TC194	0,66	4,60	0,24
TC69	1,25	3,33	0,48	TC195	2,18	3,44	0,24
TC70	1,25	3,37	0,48	TC196	2,18	2,84	0,27
TC71	1,25	3	0,53	TC197	2,18	2,98	0,26
TC72	1,25	3,92	0,43	TC198	2,18	3,86	0,22
TC73	1,25	3,57	0,35	TC199	2,92	3,60	0,28
TC74	1,25	3,31	0,37	TC200	2,92	3,78	0,27
TC75	1,25	3,58	0,35	TC201	2,36	0,74	1,00
TC76	1,25	4,55	0,29	TC202	2,36	4,52	0,21
TC77	2,01	3,65	0,66	TC203	2,36	2,11	0,18
TC78	2,01	4,32	0,31	TC204	3,25	3,07	0,10
TC79	2,01	4,33	0,31	TC205	3,32	2,55	0,11
TC80	2,01	6,25	0,24	TC206	3,38	2,07	0,13
TC81	2,01	6,27	0,24	TC207	3,26	2,91	0,10
TC82	2,01	6,15	0,24	TC208	3,29	3,54	0,09
TC83	2,01	5,84	0,25	TC209	3,23	3,78	0,08
TC84	2,01	5,67	0,25	TC210	3,22	4,37	0,08
TC85	2,01	3,18	0,23	TC211	7,80	6,08	0,11
TC86	2,01	6,01	0,15	TC212	1,17	3,87	0,31
TC87	0,84	3,24	0,37	TC213	1,55	2,93	0,21
TC88	0,84	2,98	0,39	TC214	1,55	2,69	0,22
TC89	0,63	2,43	1	TC215	1,55	3,00	0,20
TC90	0,64	3,17	0,43	TC216	1,55	2,77	0,21
TC91	0,64	3	0,32	TC217	1,55	3,87	0,17
TC92	2,15	3,5	0,38	TC218	0,40	1,61	0,36
TC93	2,15	3,71	0,36	TC219	0,40	2,53	0,20
TC94	2,15	3,23	0,4	TC220	0,40	1,69	0,26
TC95	2,15	4,32	0,32	TC221	0,85	2,22	0,37
TC96	2,15	2,69	0,46	TC222	0,85	3,67	0,26
TC97	2,15	5,51	0,27	TC223	0,91	3,18	0,39
TC98	2,15	5,31	0,28	TC224	0,91	3,85	0,26
TC99	2,15	4,55	0,31	TC225	3,59	2,86	0,39
TC100	2,15	5,21	0,28	TC226	3,58	3,17	0,36
TC101	2,14	4,69	0,31	TC227	3,58	3,86	0,31
TC102	2,14	5,44	0,27	TC228	3,57	3,64	0,32
TC103	2,14	7,29	0,22	TC231	4,69	4,42	0,23

TC104	2,14	5,89	0,26	TC232	4,69	4,24	0,17
TC105	2,14	4,7	0,19	TC233	4,69	5,79	0,14
TC106	2,14	4,41	0,2	TC234	1,15	2,62	0,30
TC107	1,35	3,55	0,37	TC235	1,14	2,27	0,33
TC108	1,35	4,63	0,3	TC236	1,14	4,03	0,22
TC109	1,35	5,14	0,28	TC237	1,14	4,07	0,22
TC110	1,35	5,21	0,2	TC238	1,14	4,60	0,20
TC111	1,34	5,42	0,2	TC239	1,14	3,54	0,24
TC112	1,34	4,15	0,15	TC240	1,14	8,37	0,13
TC113	1,34	4,21	0,15	TC241	3,43	7,43	0,95
TC114	1,34	3,34	0,17	TC242	2,12	4,62	1,00
TC115	0,47	2,76	0,27	TC243	2,15	3,79	0,69
TC116	0,47	3,2	0,24	TC244	2,94	4,49	0,78
TC117	1,02	4,34	0,19	TC245	3,03	4,19	0,92
TC118	1,02	5,03	0,17	TC246	2,91	4,90	0,74
TC119	1,02	4,6	0,18	TC247	2,15	2,98	1,00
TC120	1,02	4,59	0,18	TC248	4,70	3,62	0,26
TC121	1,02	4,17	0,2	TC249	4,70	3,60	0,26
TC122	1,02	5,72	0,16	TC250	1,27	5,03	0,27
TC123	1,02	3,15	0,24	TC251	1,26	2,71	0,43
TC124	1,02	4,01	0,2	TC252	1,26	3,19	0,28
TC125	0,65	2,87	0,75	TC253	1,26	2,33	0,35
TC126	0,65	2,65	0,49				

APÊNDICE D – SÍNTESE DA VAZÃO NOS TRECHOS COM LID

Trecho	Vazão Máx. (m³/s)	Vel. Máx. (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)	Trecho	Vazão Máx. (m³/s)	Vel. Máx. (m/s)	Altura de Lâmina Máxima (m)
TC1	0,60	2,30	0,96	TC127	0,34	3,73	0,24
TC2	0,60	2,71	0,77	TC128	0,34	3,41	0,18
TC3	0,60	3,36	0,39	TC129	0,34	3,01	0,20
TC4	0,60	2,18	0,21	TC130	0,90	3,73	0,19
TC5	0,60	2,48	0,19	TC131	1,22	2,95	0,39
TC6	0,60	1,90	0,23	TC132	1,22	2,40	0,46
TC7	0,60	2,67	0,18	TC133	1,21	1,62	0,26
TC8	0,60	2,86	0,18	TC134	1,21	1,76	0,25
TC9	0,60	2,74	0,18	TC135	1,21	2,29	0,21
TC10	0,60	2,62	0,19	TC136	1,21	2,43	0,20
TC11	0,60	2,34	0,20	TC137	1,21	4,12	0,14
TC12	0,60	3,15	0,16	TC138	0,46	2,03	0,10
TC13	0,60	3,51	0,15	TC139	0,46	2,29	0,09
TC14	0,60	1,84	0,24	TC140	0,45	2,33	0,09
TC15	0,79	1,70	0,19	TC141	0,45	2,87	0,07
TC16	0,79	1,70	0,19	TC142	0,45	1,65	0,12
TC17	0,79	1,69	0,19	TC143	0,45	2,54	0,08
TC18	0,79	1,24	0,16	TC144	1,66	3,16	0,09
TC19	0,79	1,12	0,17	TC145	1,65	1,87	0,15
TC20	0,79	1,38	0,15	TC146	1,65	1,28	0,22
TC21	2,07	1,87	0,28	TC147	1,65	3,10	0,09
TC22	2,07	2,19	0,24	TC148	1,65	2,85	0,10
TC23	2,07	3,18	0,16	TC149	1,65	2,71	0,10
TC24	2,07	2,11	0,25	TC150	1,65	1,68	0,16
TC25	2,07	2,31	0,22	TC151	1,65	3,92	0,07
TC26	2,07	3,58	0,14	TC152	1,65	2,46	0,11
TC27	2,07	2,36	0,22	TC153	1,65	2,11	0,13
TC28	2,07	1,98	0,26	TC154	2,69	3,08	0,15
TC29	2,37	2,78	0,21	TC155	2,69	3,29	0,12
TC30	2,37	1,92	0,31	TC156	2,69	2,23	0,17
TC31	2,37	3,11	0,19	TC157	2,69	3,39	0,11
TC32	2,36	2,13	0,28	TC158	2,69	2,39	0,16
TC33	2,36	3,61	0,16	TC159	2,69	4,00	0,10
TC34	2,36	4,36	0,14	TC160	2,69	3,33	0,12
TC35	2,36	3,57	0,17	TC161	2,91	3,05	0,12
TC36	2,36	4,47	0,13	TC162	2,91	2,39	0,15
TC37	2,36	2,41	0,25	TC163	2,91	3,86	0,09
TC38	2,36	4,46	0,13	TC164	2,91	3,56	0,10
TC39	1,98	3,39	0,70	TC165	2,91	3,48	0,10
TC40	1,85	2,58	1,00	TC166	2,91	3,03	0,12
TC41	1,85	2,92	0,57	TC167	2,91	4,11	0,09

TC42	1,87	1,97	0,80	TC168	3,81	2,80	0,17
TC43	1,87	3,97	0,31	TC169	3,81	3,50	0,14
TC44	1,86	2,58	0,43	TC170	3,81	3,42	0,14
TC45	1,86	3,55	0,34	TC171	3,81	4,21	0,11
TC46	1,86	3,59	0,33	TC172	3,81	4,29	0,11
TC47	1,85	2,59	0,18	TC173	3,81	3,77	0,13
TC48	1,85	3,16	0,15	TC174	3,81	4,47	0,11
TC49	1,85	3,72	0,12	TC175	3,81	5,75	0,08
TC50	1,85	3,82	0,12	TC176	3,81	4,97	0,10
TC51	1,85	3,39	0,14	TC177	3,81	5,15	0,09
TC52	1,85	4,50	0,10	TC178	3,81	3,96	0,12
TC53	1,85	2,70	0,17	TC179	4,37	3,44	0,16
TC54	1,84	2,81	0,16	TC180	0,79	2,73	0,22
TC55	0,46	1,64	0,39	TC181	0,79	4,63	0,15
TC56	0,46	2,13	0,32	TC182	0,40	3,16	0,17
TC57	0,46	2,52	0,10	TC183	0,29	1,99	0,24
TC58	0,46	2,54	0,10	TC184	0,29	4,34	0,11
TC59	0,46	2,46	0,10	TC185	0,41	2,03	0,24
TC60	0,46	2,57	0,10	TC186	0,73	3,57	0,24
TC61	0,46	2,92	0,09	TC187	0,69	2,66	1,00
TC62	0,34	2,60	0,31	TC188	0,70	3,15	0,75
TC63	0,34	2,70	0,30	TC189	0,71	2,74	0,92
TC64	0,33	2,31	0,24	TC190	0,70	3,90	0,40
TC65	0,33	2,48	0,23	TC191	0,69	3,81	0,39
TC66	0,33	2,68	0,22	TC192	0,68	3,13	0,32
TC67	0,33	2,17	0,25	TC193	0,68	2,61	0,37
TC68	0,76	2,30	0,44	TC194	0,68	4,64	0,24
TC69	0,76	2,92	0,37	TC195	1,42	3,05	0,19
TC70	0,76	2,95	0,36	TC196	1,42	2,51	0,22
TC71	0,76	2,64	0,40	TC197	1,42	2,64	0,21
TC72	0,76	3,42	0,33	TC198	1,42	3,39	0,18
TC73	0,76	3,10	0,27	TC199	1,80	3,13	0,22
TC74	0,76	2,88	0,28	TC200	1,80	3,29	0,21
TC75	0,76	3,11	0,27	TC201	1,79	0,69	0,69
TC76	0,76	3,95	0,23	TC202	1,79	4,13	0,18
TC77	1,16	3,21	0,47	TC203	1,79	1,93	0,16
TC78	1,16	3,68	0,23	TC204	2,17	2,72	0,08
TC79	1,16	3,69	0,23	TC205	2,17	2,19	0,09
TC80	1,16	5,32	0,18	TC206	2,17	1,66	0,11
TC81	1,16	5,34	0,18	TC207	2,17	2,59	0,08
TC82	1,16	5,24	0,18	TC208	2,17	3,02	0,07
TC83	1,16	4,98	0,19	TC209	2,17	3,33	0,07
TC84	1,16	4,83	0,19	TC210	2,17	3,86	0,06
TC85	1,16	2,72	0,18	TC211	4,84	5,46	0,09
TC86	1,16	5,13	0,12	TC212	0,60	3,20	0,22
TC87	0,43	2,67	0,26	TC213	0,79	2,40	0,15
TC88	0,42	2,46	0,27	TC214	0,79	2,21	0,16
TC89	0,45	2,28	0,66	TC215	0,79	2,46	0,15

TC90	0,45	2,80	0,36	TC216	0,79	2,28	0,15
TC91	0,45	2,69	0,27	TC217	0,79	3,19	0,12
TC92	1,08	2,89	0,26	TC218	0,21	1,33	0,25
TC93	1,08	3,05	0,25	TC219	0,21	2,08	0,14
TC94	1,08	2,66	0,28	TC220	0,21	1,40	0,19
TC95	1,08	3,55	0,23	TC221	0,44	1,84	0,26
TC96	1,08	2,23	0,32	TC222	0,43	3,02	0,18
TC97	1,08	4,52	0,19	TC223	0,47	2,64	0,28
TC98	1,08	4,35	0,20	TC224	0,47	3,18	0,19
TC99	1,08	3,74	0,22	TC225	2,16	2,48	0,29
TC100	1,08	4,28	0,20	TC226	2,16	2,74	0,27
TC101	1,08	3,85	0,22	TC227	2,15	3,34	0,24
TC102	1,08	4,46	0,19	TC228	2,15	3,15	0,25
TC103	1,08	5,96	0,16	TC231	2,76	3,77	0,17
TC104	1,08	4,82	0,18	TC232	2,76	3,63	0,13
TC105	1,08	3,82	0,13	TC233	2,76	4,76	0,11
TC106	1,08	3,61	0,14	TC234	0,62	2,18	0,22
TC107	0,67	2,92	0,26	TC235	0,61	1,89	0,24
TC108	0,67	3,80	0,21	TC236	0,61	3,36	0,16
TC109	0,67	4,21	0,20	TC237	0,61	3,39	0,16
TC110	0,67	4,25	0,14	TC238	0,61	3,84	0,15
TC111	0,67	4,43	0,14	TC239	0,61	2,94	0,18
TC112	0,67	3,26	0,11	TC240	0,61	6,85	0,10
TC113	0,67	3,31	0,11	TC241	1,94	6,66	0,56
TC114	0,67	2,74	0,12	TC242	1,93	4,47	0,81
TC115	0,24	2,28	0,19	TC243	1,93	3,58	0,65
TC116	0,24	2,63	0,18	TC244	1,56	3,95	0,50
TC117	0,52	3,56	0,14	TC245	1,55	3,66	0,53
TC118	0,52	4,16	0,12	TC246	1,55	4,06	0,49
TC119	0,52	3,77	0,13	TC247	1,55	2,80	0,67
TC120	0,52	3,76	0,13	TC248	2,76	3,10	0,20
TC121	0,52	3,43	0,14	TC249	2,76	3,09	0,20
TC122	0,52	4,77	0,11	TC250	0,65	4,14	0,20
TC123	0,52	2,68	0,17	TC251	0,65	2,25	0,30
TC124	0,52	3,29	0,15	TC252	0,65	2,62	0,20
TC125	0,34	2,49	0,49	TC253	0,65	1,93	0,24
TC126	0,34	2,23	0,34				

ANEXOS

ANEXO B – REDE DE DRENAGEM

