

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DA REDE DE
DRENAGEM E DE SOLUÇÕES DE BAIXO IMPACTO NA
REGIÃO ADMINISTRATIVA CANDANGOLÂNDIA**

GABRIELA SEKEFF MARQUES

ORIENTADORA: SÉRGIO KOIDE

CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: JULHO/2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DA REDE DE
DRENAGEM E DE SOLUÇÕES DE BAIXO IMPACTO NA REGIÃO
ADMISTRATIVA CANDANGOLÂNDIA**

GABRIELA SEKEFF MARQUES

**MONOGRAFA SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU BACHARELA EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

APROVADA POR:

**SÉRGIO KOIDE, PhD (UnB)
(ORIENTADOR)**

**LEONARDO ZANDONADI MOURA, MSc
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FERNANDA PEREIRA DE SOUZA, MSc
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 03 DE JULHO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MARQUES, GABRIELA SEKEFF

Manejo de Águas pluviais: estudo da rede drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia. [Distrito Federal] 2019.

xviii, 85p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharela, Engenharia Ambiental, 2019)

Monografia de Projeto Final 2 – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagens Sustentáveis

2. Modelagem Hidrológica

3. Trincheiras de Infiltração

4. SWMM

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARQUES, G. S. (2019). Manejo de Águas pluviais: estudo da rede drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia. Monografia de Projeto Final. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gabriela Sekeff Marques.

TÍTULO: Manejo de Águas pluviais: estudo da rede drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia.

GRAU: Bacharela

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final 2 e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final 2 pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gabriela Sekeff Marques
SQSW 105 Bloco F apt 521.
70670-426 - Brasília/DF, Brasil
gabrielasekeff@gmail.com

RESUMO

O manejo das águas pluviais urbanas consiste em um dos grandes problemas de saneamento enfrentado pelo Brasil atualmente, inclusive no Distrito Federal. A ocupação urbana gera diversos impactos no ciclo hidrológico, relacionadas à quantidade, qualidade e regime dos corpos de água em meio urbano. A Região Administrativa XIX – Candangolândia, localizada no DF, sofreu um intenso processo de urbanização e conta com um sistema de drenagem convencional. O presente projeto buscou analisar o sistema de drenagem de água dessa região por meio de simulação hidrológica realizada com o modelo SWMM. Além disso, foram propostas soluções de drenagem sustentável capazes de melhorar o desempenho do sistema. Foram simulados três cenários com arranjos que se diferenciaram quanto ao momento de ocupação e quanto à infraestrutura de drenagem presente, a saber: cenário pré-desenvolvimento, cenário de ocupação urbana com rede construída e cenário de ocupação urbana com implementação das trincheiras de infiltração. A modelagem hidrológica mostrou que a urbanização gera significativas alterações no ciclo hidrológico de pré-desenvolvimento, reduzindo a infiltração e aumentando o volume de escoamento superficial e de saída no lançamento final da área drenada. Verificou-se, ainda, que a utilização de LIDs contribuiu para o amortecimento das vazões de pico e dos volumes escoados superficialmente, principalmente nos eventos de Tempo de Retorno de 2 e 5 anos. Porém a aplicação das medidas não foi suficiente para limitar o escoamento máximo à vazão específica determinada pela Adasa para os eventos com tempo de retorno igual a 10 anos. Os resultados mostraram que a aplicação de soluções de baixo impacto promove a melhoria dos sistemas convencionais de drenagem.

Palavras Chave: drenagem sustentável, trincheiras de infiltração, modelagem hidrológica, SWMM.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por toda saúde, proteção e boas energias.

Aos meus pais, Andréa e Gustavo, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Mãe, obrigada pelos constantes estímulos e por me ensinar a ser uma pessoa de bem. Pai, obrigada por todas as longas conversas e por todas as vezes que prontamente me ajuda.

À minha irmã Alice, que gentilmente me emprestou um mouse que foi essencial para esse trabalho. Brincadeiras à parte, obrigada pela cumplicidade.

À UnB, por ser casa e por todas as portas que abriu para mim.

Ao Professor Koide e Maria Elisa por todos os ensinamentos, sabedoria, paciência e conselhos nesse ano de trabalho.

À todos os professores e funcionários da UnB que contribuíram para minha formação, não só como profissional, mas como pessoa.

Aos amigos da graduação que tornaram esse momento da minha vida único.

Ao Lucas, meu amor e melhor amigo, por todo carinho, coragem e apoio. Obrigada pelo companheirismo, amor e pelas palavras carinhosas (ou, quando necessário, duras), que me ajudaram nessa trajetória.

Ao Tomás, por dar sentido à vida.

À CHIWATER pela concessão da licença do PCSWMM para fins acadêmicos.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte desse trabalho e de toda a trajetória da graduação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1. CICLO HIDROLÓGICO E ESCOAMENTO SUPERICIAL	4
3.2. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	5
3.3. GESTÃO E PLANEJAMENTO URBANO.....	9
3.4. DRENAGEM URBANA.....	11
3.4.1. Medidas de controle.....	11
3.4.2. Drenagem Convencional.....	13
3.4.3. Drenagem Sustentável	14
3.4.3.1. Experiências brasileiras de drenagens sustentável.....	22
3.5. MODELAGEM MATEMÁTICA	24
3.5.1. O modelo SWMM	25
4. METODOLOGIA.....	28
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	29
4.1.1. Drenagem Urbana	30
4.1.2. Ordenamento territorial.....	32
4.1.3. Hidrografia.....	34
4.1.4. Clima, solo e vegetação	34
4.1.5. Relevo	35
4.1.6. Uso e ocupação da RA XIX - Candangolândia	37
4.2. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	38
4.3. ANÁLISE DA PROPOSTA DA SOLUÇÃO DE BAIXO IMPACTO	39
4.4. MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	40

4.4.1. Precipitação.....	40
4.4.2. Caracterização de cada sub-bacia de contribuição.....	42
4.4.3. Definição do CN	43
4.4.4. Rede de drenagem.....	45
4.4.5. Uso de LIDS	47
4.5. MÉTODO RACIONAL.....	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1. CENÁRIO PRÉ-DESENVOLVIMENTO	51
5.2. CENÁRIO BASE	52
5.3. CENÁRIO ALTERNATIVO	57
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Ciclo hidrológico simplificado (Collischonn e Dornelles, 2013).	4
Figura 3.2 Hidrograma (Tucci e Mendes, 2006).	5
Figura 3.3 Relação entre urbanização e processos hidrológicos (Adaptado de FISRWG, 1998).	6
Figura 3.4 Impactos da urbanização no escoamento (Tucci, 1997).	7
Figura 3.5 Gestão de água na cidade no futuro (Andrade, 2014).	11
Figura 3.6 Componentes do sistema clássico de drenagem urbana (Adaptado de BUTLER; DAVIES, 2011).	12
Figura 3.7 Impactos ambientais nos corpos hídricos receptores (Novacap, 2016).	13
Figura 3.8 Diagrama dos componentes chave do LID (Bahense, 2013).	14
Figura 3.9 Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas urbanas (Adaptado de Righetto, 2009).	15
Figura 3.10 Trincheira de infiltração (Tassi <i>et al.</i> , 2016).	17
Figura 3.11 Pavimento permeável (Lourenço, 2014).	18
Figura 3.12 Telhado verde (Lourenço, 2014).	18
Figura 3.13 Bacia de retenção (Lourenço, 2014)	19
Figura 3.14 Bacia de detenção (FCTH, 2013).	19
Figura 3.15 Exemplo de aplicação de trincheiras de infiltração.	20
Figura 3.16 Parque da sub-bacia do córrego 1º de Maio (FCTH, 2013).	22
Figura 3.17 Telhado verde sobre laje de concreto no edifício Harmonia 57 (DIAS; CASTAGNA, 2013).	23
Figura 3.18 Av. Goethe antes da implantação de ações do PDDU (FCTH, 2013).	23
Figura 3.19 Av. Goethe depois da implantação das ações do PDDU (FCTH, 2013).	24
Figura 4.1 Fluxograma das etapas do projeto.	28
Figura 4.2 Localização da RA XIX – Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).	29
Figura 4.3 Mapa do Sistema de Drenagem Urbana da RA XIX- Candangolândia.	30
Figura 4.4 Processo de ocupação urbana da RA XIX - Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).	31
Figura 4.5 Mapa de Zoneamento de Risco de Alagamento no Distrito Federal (Serenco, 2017).	32

Figura 4.6 Zoneamento da RA XIX – Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2015).	33
Figura 4.7 Mapa de uso do solo da RA XIX – Candangolândia	33
Figura 4.8 Hidrografia e Bacia Hidrográfica da RA XIX - Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).	34
Figura 4.9 Solo e vegetação da RA XIX – Candangolândia.	35
Figura 4.10 Mapa de declividade da RA XIX – Candangolândia.	36
Figura 4.11 Relevo das ruas da RA XIX – Candangolândia.	36
Figura 4.12 Mapa Hipsométrico da RA XIX – Candangolândia.	37
Figura 4.13 Vista superior do arranjo urbanístico da Candangolândia (LEÃES, 2014).	38
Figura 4.14 Lavagem de carro na calçada.	38
Figura 4.15 Detritos obstruindo a boca de lobo com grelha.....	38
Figura 4.16 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 2 anos.....	41
Figura 4.17 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 5 anos.....	41
Figura 4.18 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 10 anos.....	41
Figura 4.19 Mapa da Área de Contribuição da Rede de Drenagem RA XIX – Candangolândia.	42
Figura 4.20 Exemplo de sub-bacias e direções de fluxo para outras sub-bacia ou PV.	43
Figura 4.21 Variação dos valores de CN para cada uma das sub-bacias.....	44
Figura 4.22 Rede de drenagem na RA XIX – Candangolândia modelada no PCSWMM..	46
Figura 4.23 Representação das cinco áreas de contribuição modeladas no PCSWMM.	47
Figura 4.24 Esquema ilustrativo das camadas das trincheiras de infiltração (Chi Water, 2018).....	48
Figura 5.1 Representação do Cenário de Pré-Desenvolvimento no PCSWMM.	51
Figura 5.2 Hietograma para o Tr = 2 anos no Cenário Base.	53
Figura 5.3 Hietograma para o Tr = 5 anos no Cenário Base.	53
Figura 5.4 Hietograma para o Tr = 10 anos no Cenário Base.	53
Figura 5.5 Representação do perfil de extravasamento de poço de visita no PCSWMM...	55
Figura 5.6 Mapa da representação dos PVs em situação de extravasamento no PCSWMM.	56
Figura 5.7 Representação do Cenário Alternativo no PCSWW.....	58
Figura 5.8 Hidograma para o Tr = 2 anos no Cenário Alternativo.....	61
Figura 5.9 Hidograma para o Tr = 2 anos no Cenário Alternativo.....	61
Figura 5.10 Hidograma para o Tr = 10 anos no Cenário Alternativo.....	61

Figura 5.11 Posicionamento de dispositivos de baixo impactos complementares às trincheiras de infiltração. 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Impactos referentes aos diferentes usos e ocupação do solo (Costa, 2013)	8
Tabela 3.2 Categoria de medidas não estruturais (Righetto, 2009).....	16
Tabela 3.3 Diferenças entre as abordagens de drenagem convencional e sustentável (Adaptado de MARSALEK e SCHREIER, 2009).	21
Tabela 3.4 Tipos de solo (Adaptado de Tucci, 2002).....	26
Tabela 3.5 Valores de CN para bacias urbanas (Adaptado de Tucci, 2002).	26
Tabela 4.1 CN adotado para cada uso de solo existente nas sub-bacias, de acordo com Tucci (2002).	43
Tabela 4.2 CN adotado para cada uso de solo existente nas sub-bacias, de acordo com Tucci (2002).	45
Tabela 4.3 Características gerais da rede de drenagem da RAXIX - Candangolândia.	45
Tabela 4.4 Características gerais das áreas de contribuição.....	47
Tabela 4.5 Parâmetros e dimensões utilizados para modelagem das trincheiras de infiltração	49
Tabela 4.6 Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial segundo o TR da Novacap.	50
Tabela 5.1 Resultados obtidos na simulação do Cenário Base.....	52
Tabela 5.2 Resultado das vazões de lançamento no Cenário Base.	54
Tabela 5.3 Número de poços de visita com sobrecarga e extravasamento.....	55
Tabela 5.4 Resultados das vazões calculas pelo Método Racional.	57
Tabela 5.5 Resultados do Cenário Alternativo	58
Tabela 5.6 Resultado das vazões de lançamento no Cenário Alternativo.	59
Tabela 5.7 Comparação dos resultados encontrados entre o Cenário Base e o Cenário Alternativo.....	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1	25
Equação 3.2	25
Equação 4.1	40
Equação 4.3	49
Equação 4.4	50

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia, Saneamento do Distrito Federal
APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante de Interesse Ecológico
CBMDF	Corpo de Bombeiro Militar do Distrito Federal
CN	Curva Número
DF	Distrito Federal
DRENURBS	Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte
EPA	Environment Protection Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade Duração Frequência
LID	Low Impact Development
MDE	Modelo Digital de Elevação
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
ONU	Organizações das Nações Unidas
PCSWMM	Personal Computer Storm Water Management Model
PDAD	Plano Distrital de Amostra por Domicílios
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbano
PDL	Plano Diretor Local
RA	Região Administrativa
SCS	Soil Conservation Service
SEGETH	Secretária de Estado de Gestão Territorial e Habitação
SWMM	Storm Water Management Mod
TR	Tempo de Retorno

1. INTRODUÇÃO

O crescimento e a expansão dos centros urbanos de maneira rápida e desordenada acarreta num grande contingente populacional em um espaço reduzido, com grande competição pelos mesmos recursos naturais, afetando profundamente a biodiversidade e ecossistemas naturais. Com esse crescimento urbano, diversas alterações no meio ambiente são percebidas, provocando mudanças no ciclo hidrológico, relacionadas à quantidade, qualidade e regime dos corpos de água em meio urbano.

De acordo como relatório “Perspectivas da Urbanização Mundial” da ONU de 2014, atualmente 54% da população vive em áreas urbanas. No Brasil, a tendência observada também é o aumento da população urbana que, segundo o censo do IBGE de 2010, representa 84% da população do país. Tal fenômeno provoca ocupações desordenadas do uso do solo, o que gera o aumento das inundações observadas ano após ano, devido à impermeabilização do solo, diminuição do volume infiltrado e aumento do escoamento superficial.

Os problemas com o manejo das águas urbanas também são uma preocupação constante no Distrito Federal (DF). A ocupação de novas áreas aconteceu, sobretudo, sem devida atenção às possíveis mudanças no ciclo hidrológico da região. Ressalta-se, ainda, que o DF localiza-se na cabeceira de bacias hidrográficas, sem a presença de rios caudalosos, tornando maior a necessidade de preservar as águas de seu território, pois a disponibilidade hídrica local é mais restrita e em 2017, vivenciou-se uma grande crise hídrica, com adoção, inclusive, do racionamento de água

A Região Administrativa da Candangolândia, de acordo com o diagnóstico situacional apresentado pelo Plano Distrital de Saneamento Básico, apresenta uma alta taxa de impermeabilização, o que prejudica a penetração das águas pluviais no solo e interfere nos corpos hídricos da região, devido ao aumento da vazão e à poluição difusa. Além disso, a área caracteriza-se como um local de drenagem pluvial problemática de acordo com Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU-DF). Pois, apesar de apresentar sua rede de drenagem implantada, sofreu intensa ocupação ao longo dos anos.

Dessa forma, é necessário conhecer os processos da ocupação do espaço urbano, bem como suas consequências, para que tanto a infraestrutura necessária, como a minimização dos impactos sejam planejados.

As soluções sustentáveis de drenagem urbana usam estratégias de manejo que buscam o planejamento multidisciplinar associado a práticas de conservação quali-quantitativas das

funções hidrológicas ao minimizar e mitigar os efeitos da ação antrópica no meio ambiente (Souza *et al.*, 2012). O controle das águas urbanas por meio dessa abordagem é também conhecido por soluções de Desenvolvimento de Baixo Impacto ou *Low Impact Development* (LIDs).

O presente trabalho propôs a análise do sistema de drenagem de água pluviais instalado na Região Administrativa da Candangolândia. Foram analisados os impactos causados pelo crescimento urbano no local, bem como foram avaliadas as possibilidades de mitigação dos impactos por meio de estruturas de drenagem de baixo impacto. Para isso, foi utilizado o modelo computacional SWMM que permitiu a simulação dos comportamentos hidrológicos, a análise do funcionamento da rede de drenagem e a criação de um cenário com uso de trincheira de infiltração

Este documento está estruturado em Introdução, Objetivos, Fundamentação Teórica, Metodologia, Resultados e Discussões, Conclusões e Recomendações.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral a análise dos sistemas de drenagem e dos padrões de ocupação urbana da Região Administrativa da Candangolândia no Distrito Federal e a proposição de soluções de desenvolvimento de baixo impacto para a manejo das águas pluviais urbanas da região a fim de minimizar os efeitos do processo de urbanização.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São os objetivos específicos:

- Analisar os impactos do processo de urbanização da região no volume do escoamento e nas vazões de pico devido o processo de urbanização na região por meio do modelo computacional PCSWMM;
- Verificar o efeito da utilização de soluções de baixo impacto no local de estudo, com relação a redução das vazões de escoamento superficial

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CICLO HIDROLÓGICO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre (TUCCI, 2001).

Toda água no planeta está em contínuo movimento cíclico entre as reservas sólida, líquida e gasosa. As componentes do ciclo hidrológico são precipitação, evaporação, transpiração, infiltração e percolação (TUNDISI, 2016). Pode-se começar a descrever o ciclo a partir do vapor de água que se condensa, formando gotículas de água. Quando o agrupamento dessas gotículas atinge determinada dimensão, ocorre a precipitação. Parte da precipitação não atinge o solo, seja devido a evaporação ou seja porque fica retido na vegetação (PINTO *et al.*, 1976). A Figura 3.1 abaixo mostra de maneira simplificada o ciclo hidrológico.

A água que atinge o solo pode, então, ser escoada e reservada em lagos e represas, e daí evaporar para a atmosfera ou se infiltrar e percolar no solo (TUNDISI, 2016). A infiltração é o processo pelo qual a água é absorvida pelo solo. Quando a intensidade da precipitação excede a capacidade do solo de infiltração, ocorre o escoamento superficial da água. Boa parte dos estudos hidrológicos está ligado ao aproveitamento das águas superficiais e aos fenômenos provocados pelo seu deslocamento, dessa forma, o escoamento superficial é a fase de maior destaque no ciclo hidrológico. Os processos de escoamento num rio, canal ou reservatório dependem tanto de fatores físicos, como, declividade, rugosidade e seção do escoamento, quanto de fatores climáticos como intensidade e duração da precipitação (VILLELA; MATTOS, 1975).

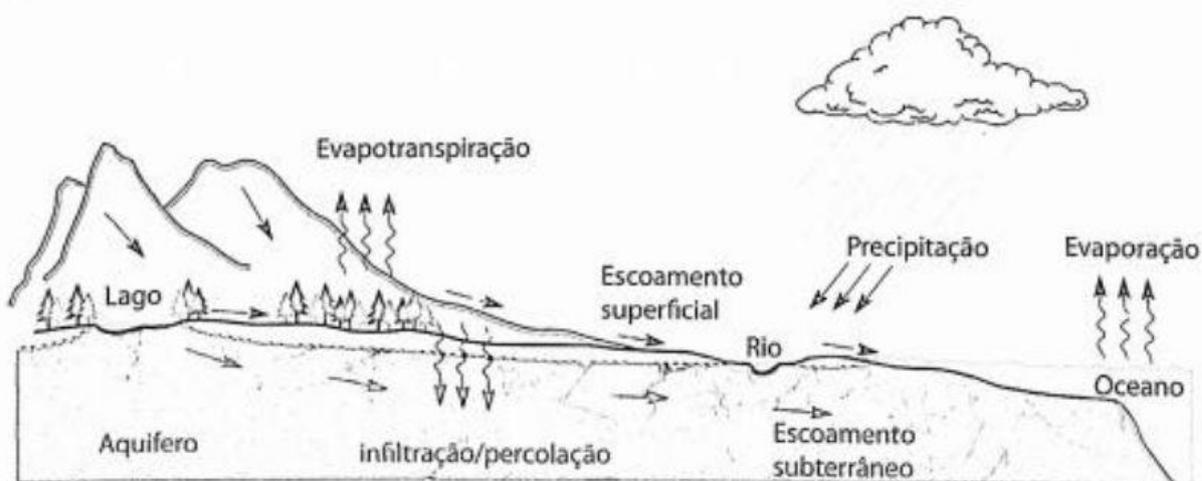


Figura 3.1 Ciclo hidrológico simplificado (Collischonn e Dornelles, 2013).

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas que converge para os rios, formando as bacias hidrográficas (TUCCI; MENDES, 2006). Segundo Viessman, Harbaugh Knapp, conforme citado por Vilella (1975, p. 7), a bacia hidrográfica é a área topograficamente definida, drenada por um curso d'água ou um sistema de cursos conectados, tal que, toda a vazão efluente é descarregada através de uma saída simples.

A quantificação da contribuição do escoamento superficial na bacia é essencial para a hidrologia urbana e o controle de inundações, uma vez que representa o comportamento destas bacias em relação à ocorrência de chuvas, bem como sua capacidade de retenção (RIGHETTO, 2009). Na Figura 3.2 pode-se observar que o escoamento superficial representa a maior parte do escoamento durante o período chuvoso.

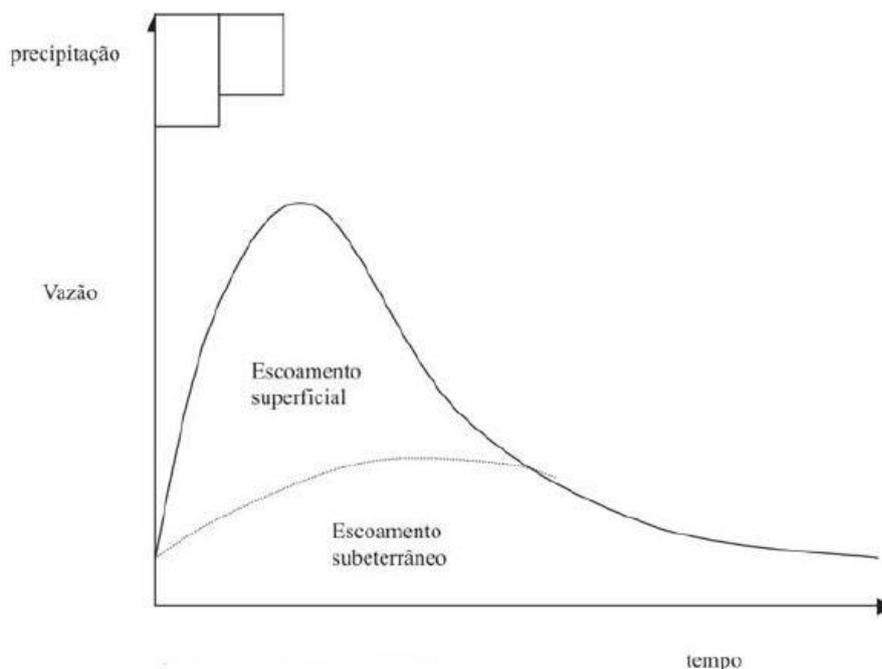


Figura 3.2 Hidrograma (Tucci e Mendes, 2006).

3.2. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

O ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido, principalmente, à alteração da superfície e a canalização do escoamento, aumento de poluição devido à contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. (TUCCI, 2003).

A urbanização, processo ligado ao crescimento populacional e territorial nas cidades, é uma realidade existente na maioria das cidades brasileiras. A questão dos impactos ambientais

nos centros urbanos emerge como um dos principais problemas atuais no globo. A priorização da prática de uso da terra urbano industrial em detrimento do rural, provocou um crescimento desordenado dos núcleos urbanos brasileiros, uma vez que a população migrante das regiões agrárias inchava tais centros mais rapidamente do que estes conseguiam se estruturar (RICA, 2011).

Os processos de urbanização provocam alterações na cobertura vegetal, em geral, aumento das áreas impermeáveis, paralelo à diminuição das áreas para escoamento e infiltração das águas pluviais, o que provoca o aumento das vazões de cheia e diminuição do tempo de concentração. A redução do nível do lençol freático e a diminuição da evapotranspiração são outros impactos observados nas áreas urbanas (TUCCI; MENDES, 2006). A Figura 3.3 abaixo ilustra a relação entre a urbanização e os processos hidrológicos.

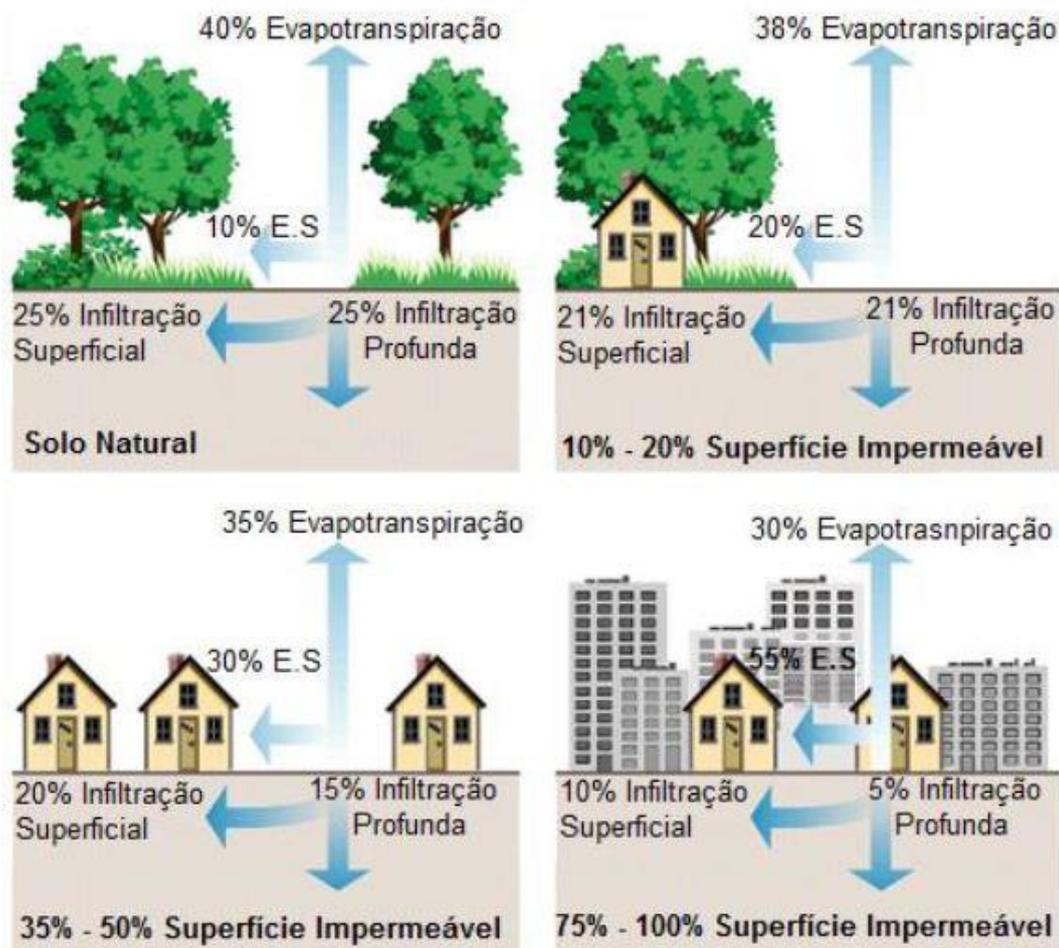


Figura 3.3 Relação entre urbanização e processos hidrológicos (Adaptado de FISRWG, 1998).

Com o desenvolvimento acelerado dos centros urbanos, a infraestrutura de drenagem urbana passa a não atender as alterações provocadas no escoamento superficial, provocando, assim, inundações e enchentes nos centros urbanos em decorrência de chuvas com grandes intensidades e pequenas durações (CANHOLLI, 2013). A ocorrência de inundações acarreta ainda em diversos outros impactos, como por exemplo, o aumento da erosão do solo e produção de sedimentos, devido à falta de cobertura vegetal, comprometendo o bom funcionamento dos sistemas de drenagem e reduzindo ainda mais a capacidade de escoamento. A Figura 3.4 abaixo ilustra os impactos sofridos no escoamento devido o processo de urbanização.

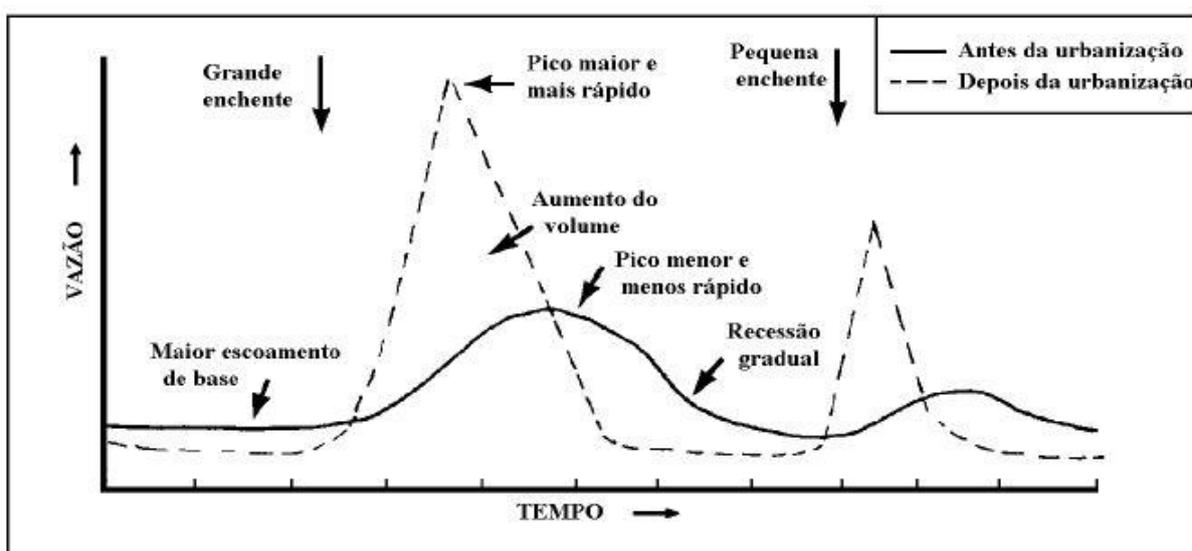


Figura 3.4 Impactos da urbanização no escoamento (Tucci, 1997).

Em termos qualitativos é visto, ainda, o aumento da concentração de poluentes na água causada pelo carreamento de materiais sólidos e dos resíduos sólidos urbanos pelo escoamento superficial. As cargas poluidoras são compostas de fontes pontuais e difusas, aumentando o potencial poluidor nas águas. (RIGHETTO, 2009). Os impactos oriundos da poluição hídrica são diversos, como por exemplo, a veiculação de doenças, prejuízo nos usos da água, elevação nos custos do tratamento da água, desequilíbrio ecológico e degradação das paisagens (BAPTISTA *et al.*, 2007).

As cargas pontuais de poluição ocorrem de forma concentrada e são, geralmente, de fácil identificação. Estas se devem, principalmente, pelos efluentes industriais e pelas estações de tratamento de esgoto. Já as cargas poluidoras de fonte difusa ocorrem de forma distribuída ao longo da bacia hidrográfica e seus poluentes apresentam origens diversas de acordo com

os usos e ocupações do solo de uma determinada região. A Tabela 3.1 apresenta os principais impactos causados nos corpos hídricos pelos diferentes usos e ocupações do solo.

Tabela 3.1 Impactos referentes aos diferentes usos e ocupação do solo (Costa, 2013)

USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS	IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS
Urbano	<p>Modifica o ciclo hidrológico por meio da construção de ruas pavimentadas, telhados, calçadas, e pátios, que oferecem menor resistência ao escoamento superficial e diminui a infiltração no solo. Como consequência, há o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, alterando o hidrograma na redução no tempo de pico e do escoamento de base, e aumento da vazão de pico (Garcia, 2005).</p> <p>Altera a qualidade dos corpos hídricos, principalmente devido ao lançamento de esgotos domésticos in natura, como também resíduos sólidos urbanos, oriundos também das atividades comerciais com a presença de elementos tóxicos como oficinas de veículos.</p> <p>Provoca o aumento da produção de sedimentos (Minella e Merten, 2006).</p>
Agrícola	<p>Induz o desmatamento das bacias hidrográficas, desenvolve processos erosivos do solo, o empobrecimento das pastagens nativas, e a redução nas reservas de água do solo (Rebouças, 2006).</p> <p>Provoca o aumento da produção de sedimentos (Minella e Merten, 2006).</p>
Industrial	<p>Lançam, a cada ano, entre 300 e 400 milhões de toneladas de metais pesados, solventes, lodo tóxico e resíduos sólidos nas águas do mundo (ANA e PNUMA, 2011).</p>
Atividade de Mineração e perfuração	<p>Geram desmatamentos e grande movimentação de terra, resultando na erosão do solo, no carreamento de materiais para os corpos d'água. (Bonumá <i>et al.</i>, 2008).</p> <p>Aumentam o nível de alguns micropoluentes inorgânicos tóxicos, entre eles os metais pesados (Von sperling, 2005).</p> <p>Liberam grandes quantidades de resíduos e subprodutos quando há a falta de mecanismos adequados para o descarte final.</p>

No Brasil, durante o desenvolvimento urbano de algumas das suas principais cidades, foram criadas vias de fundo de vale, por meio da retificação e canalização de vários córregos, o que permitiu a construção de vias marginais sobre os antigos meandros. Assim, as várzeas que antes estavam sujeitas a alagamentos foram suprimidas, provocando, além da aceleração dos escoamentos, o aumento considerável dos picos de vazão e das inundações (CANHOLLI, 2013).

No Distrito Federal, os efeitos da ocupação urbana desordenada e dispersa também são observados nos sistemas de drenagem causando impactos no âmbito social e ambiental.

Social, porque as perdas materiais e os demais transtornos causados à população são imensuráveis. E ambiental, porque nota-se degradação do meio ambiente, como lançamento com grande concentração de particulado e alterações no regime hídrico. (MANCINI, 2008). Atualmente, um grande desafio em relação aos recursos hídricos é o controle de tais impactos gerados pelo desenvolvimento urbano, tanto em nível interno no município, quanto em nível externo na bacia hidrográfica, já que o principal modelo de sistema de drenagem empregado no país tem sido exportar os problemas de poluição e inundações para a jusante (TUCCI; BERTONI, 2003).

3.3. GESTÃO E PLANEJAMENTO URBANO

A gestão das águas pluviais dentro do espaço urbano é fundamental para evitar os problemas citados decorrentes do crescimento urbano desordenado. De acordo com Righetto (2009), a fragilidade institucional dos órgãos gestores do meio ambiente e dos recursos hídricos do país, nas diversas esferas, tem sido confrontada com a necessidade de encarar os paradigmas do desenvolvimento sustentável.

O Ministério do Meio Ambiente afirma que a problemática ambiental urbana deve ser o elemento capaz de unificar todas as ações urbanísticas, nos mais diversos setores, buscando construir cidades ambientalmente e socialmente justas. Isto é, a sustentabilidade urbana busca aliar o uso racional dos recursos naturais e a boa forma do ambiente urbano baseado na interação com o clima e os recursos naturais, além das respostas às necessidades urbanas com a minimização dos impactos negativos aos ecossistemas atuais e futuros (BARBOSA, 2008).

A ordenação do espaço urbano se faz por meio da aplicação eficaz das legislações federal, estadual e municipal (RIGHETTO, 2009). O principal instrumento para este gerenciamento são os Planos Diretores de Urbanização (PDUs) ou de Uso do Solo Urbano. No Brasil, a Lei Federal N° 10.257 de 2001, conhecida como Estatuto da Cidade, prevê a criação de PDU para todas as cidades com mais de vinte mil habitantes. Além disso, a Lei Federal nº 11.445/2007, Lei do Saneamento Básico, estabelece a disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais prevê a bacia hidrográfica como unidade de referência para as ações de planejamento, esteja ela inserida em um ou vários municípios. O Plano Diretor é o instrumento básico de planejamento urbano e deve ser idealizado de forma a integrar o Plano Diretor de Drenagem Urbano (PDDU), que tem como objetivo, criar mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade (TUCCI, 2003). Tal dispositivo tem como

meta o planejamento da distribuição da água pluvial no tempo e no espaço baseado na tendência de ocupação urbana, desenvolvimento e a infraestrutura. Além disso, deve prever restrições de ocupação de áreas de alto risco de enchentes e proporcionar a convivência harmônica com as enchentes nas áreas de baixo risco.

Uma ação com o intuito de estimular articulação entre as políticas de desenvolvimento urbano, de uso e ocupação do solo e de gestão das bacias hidrográficas foi programa Drenagem Urbana Sustentável lançado pelo Ministério das Cidades em 2006. O programa objetiva promover a recuperação de áreas úmidas, prevenção, controle e minimização dos impactos decorrentes das inundações e tem como ações prioritárias o desenvolvimento de ações na gestão da drenagem urbana segundo as diretrizes do PDDU do município.

No Distrito Federal, o PDDU-DF, vigente desde 2009, é o documento orientador na gestão do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no DF (SERENCO, 2017). O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do DF, elaborado em 2018 a partir de uma revisão e ampliação do PDDU-2009, tem como objetivo apresentar os critérios para os estudos de concepção e projeto de sistema de drenagem (ADASA,2018). Já o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), Lei Complementar nº 803 de 2009, é o instrumento básico que orienta a gestão das localidades urbana e a expansão urbana e rural dentro do território do Distrito Federal. A Resolução nº 09/2011 também se destaca como um instrumento legal referente a temática de drenagem, pois estabelece os procedimentos necessários para outorga de lançamento de águas pluviais nos corpos hídricos

Não existe no DF um órgão exclusivo para os serviços de drenagem. A gestão e serviços referentes ao manejo de águas pluviais são realizadas por um conjunto de órgãos e instituições da administração públicas que incorporam as diversas atribuições do setor (ADASA, 2018) .

Finalmente, é importante ressaltar que, o planejamento do espaço urbano visa, sobretudo, evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saúde e meio ambiente da cidade considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais (TUCCI; BERTONI, 2003). E o planejamento e gestão das águas urbanas de forma integrada, de acordo com Tucci (2012) considera os seguintes componentes:

- Planejamento urbano: disciplina o uso do solo da cidade com base nas necessidades dos seus componentes de infraestrutura;
- Serviços de saneamento: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana;

- Metas dos serviços: conservação do meio ambiente urbano e qualidade de vida, no qual estão incluídas a redução de cheias e a eliminação de doenças de veiculação hídrica;
- Institucional: baseia-se no gerenciamento de serviços, legislação, capacitação e monitoramento de forma geral.

Andrade (2014) adota o termo “Cidades sensíveis à água” para se referir às formas urbanas projetadas de forma a minimizar os impactos sobre o ciclo da água urbana. Para a autora, a chave está no entendimento dos ciclos da água na bacia hidrográfica e no meio urbano, bem como a integração entre o planejamento do uso do solo e preservação ambiental, infraestrutura e dinâmica das populações. São apresentados alguns exemplos de padrões urbanos mais sustentáveis, conforme a Figura 3.5, porém evidencia-se o grande distanciamento que ainda existe entre as áreas de conhecimento que a temática abrange.

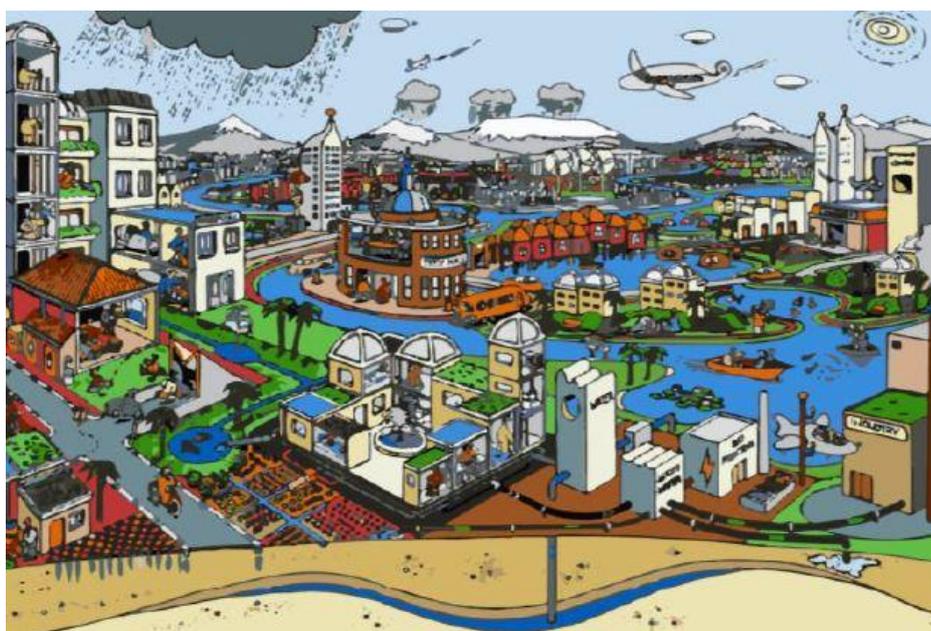


Figura 3.5 Gestão de água na cidade no futuro (Andrade, 2014).

3.4. DRENAGEM URBANA

3.4.1. Medidas de controle

A Lei Federal nº 11.445/2007, Lei do Saneamento Básico, descreve os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como: o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

A drenagem urbana é entendida como o gerenciamento das águas pluviais que escoam no meio urbano. Ou seja, são as medidas adotadas com objetivo de minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (SILVEIRA, 2004). As medidas de controle de inundações buscam minimizar ou mitigar os impactos causados pelas inundações e podem ser classificadas em estruturais, quando modificam o rio para evitar os prejuízos provocados pelas enchentes; e em não-estruturais quando o homem convive com o rio e busca a redução dos prejuízos (BAPTISTA *et al.*, 2007). As medidas estruturais são divididas em extensivas e intensivas. As medidas extensivas agem no contexto global da bacia, isto é, buscam modificar a relação entre precipitações e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchentes e controla a erosão do solo. Já as medidas que agem nos cursos d'água e na superfície, como obras de contenção, aumento da capacidade de descarga dos rios e do retardamento do escoamento, com a implantação de bacias de amortecimento, e/ou desviar o escoamento, são identificadas como intensivas (TUCCI; BERTONI, 2003).

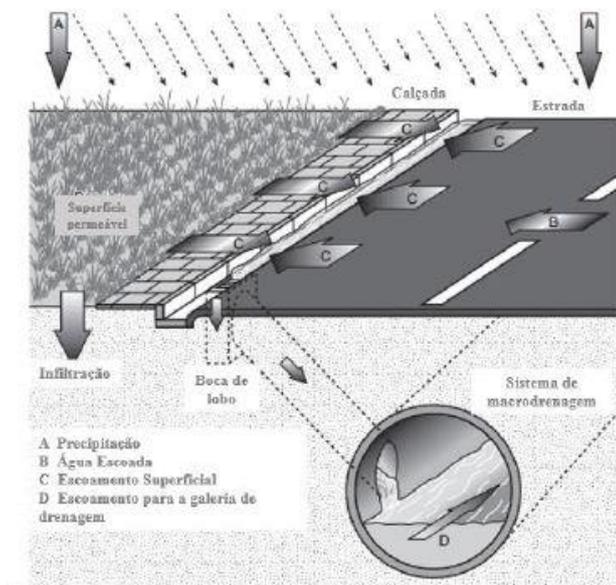


Figura 3.6 Componentes do sistema clássico de drenagem urbana (Adaptado de BUTLER; DAVIES, 2011).

Os sistemas de drenagem diferenciam-se ainda em sistemas de microdrenagem e macrodrenagem, como mostra a Figura 3.6 acima. Os sistemas de microdrenagem inclui a

coleta e afastamento das águas superficiais pelas estruturas como meio-fio, sarjetas, boca de lobo e tubulações que conduzem essas águas até os sistemas de macrodrenagem constituídos galerias de grande porte, canais e rios canalizados. (BAPTISTA *et al.*, 2007).

3.4.2. Drenagem Convencional

A drenagem urbana convencional tem como objetivo principal o rápido escoamento das águas pluviais, isto é, promover a retirada das águas pluviais das áreas urbanizadas com intuito de evitar transtornos. As soluções mais empregadas consistem na construção de canalizações, seja na forma de condutos subterrâneos ou canais abertos, que têm por finalidade a captação e direcionamento da água pluvial para fora do meio urbano no menor tempo possível (CANHOLLI, 2013; RIGHETTO, 2009; TUCCI; MENDES, 2006).

O rápido transporte do escoamento em meio a crescente impermeabilização do espaço urbano, apenas contribuem para o aumento da ocorrência de inundações à jusante das áreas drenadas. Tais limitações dos sistemas convencionais de drenagem dependem de obras onerosas para serem solucionadas, como por exemplo, a ampliação de canais e substituição de condutos. Do ponto de vista da ambiental, de acordo com, Baptista *et al.* (2007), as técnicas clássicas não abrangem os aspectos qualitativos dos corpos hídricos. Isto é, os corpos receptores ficam sujeitos ao assoreamento e à poluição, provenientes do carreamento de sedimentos com todos os tipos de partículas agregadas e de resíduos sólidos, assim como das ligações de esgoto clandestinas, colaborando para os impactos à qualidade dos corpos hídricos. A Figura 3.7 abaixo mostra os prejuízos sofridos pelos corpos hídricos.



Figura 3.7 Impactos ambientais nos corpos hídricos receptores (Novacap, 2016).

3.4.3. Drenagem Sustentável

Tecnologias alternativas e/ou compensatórias de drenagem vem sendo desenvolvidas com o objetivo de atenuar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos ao mesmo tempo que proporcionam a preservação ambiental. As técnicas de drenagem sustentável buscam respeitar o funcionamento natural da bacia hidrográfica e proporcionar a restauração de vazões evitando o rápido escoamento a jusante, o que permite melhor controle dos riscos de inundação e promove melhorias na qualidade das águas drenadas (SOUZA; TUCCI, 2005).

Soluções de drenagem que consideram o problema de forma integrada, onde as técnicas utilizadas no manejo das águas são projetadas de forma a proteger os recursos naturais são denominadas LID (*Low Impact Development*). O diferencial das soluções de LID, segundo Souza *et al.* (2012), encontra-se na integração entre o planejamento urbano e manejo integrado, viabilizando perturbação mínima aos processos naturais e à sociedade, como pode ver visto na Figura 3.8.



Figura 3.8 Diagrama dos componentes chave do LID (Bahense, 2013).

As estratégias de LID buscam, sobretudo, a redução dos impactos da urbanização por meio da diminuição de áreas impermeáveis, maximização do tempo de concentração e atenuação o nível de poluição nas águas urbanas.

Atualmente, existem diversas abordagens nos projetos de drenagem sustentável, porém, as técnicas utilizadas são, sobretudo, centralizadas nos processos de armazenamento e de

infiltração das águas pluviais. Porém, é visto também estratégias que utilizam outras tecnologias, como por exemplo, áreas verdes que promovem o amortecimento das cheias e a integração com o espaço urbano. (RIGHETTO, 2009).

Righetto (2009) afirma que as técnicas compensatórias podem ser classificadas quanto ao modo de influenciar na geração do escoamento e quanto a localização na bacia. No primeiro caso, distinguem-se em soluções estruturais e não-estruturais e, no segundo caso, em controle centralizado e controle na fonte. As técnicas estruturais de controle na fonte, por sua vez, diferenciam-se em controle localizado e linear. A Figura 3.9 ilustra a classificação das técnicas compensatórias.

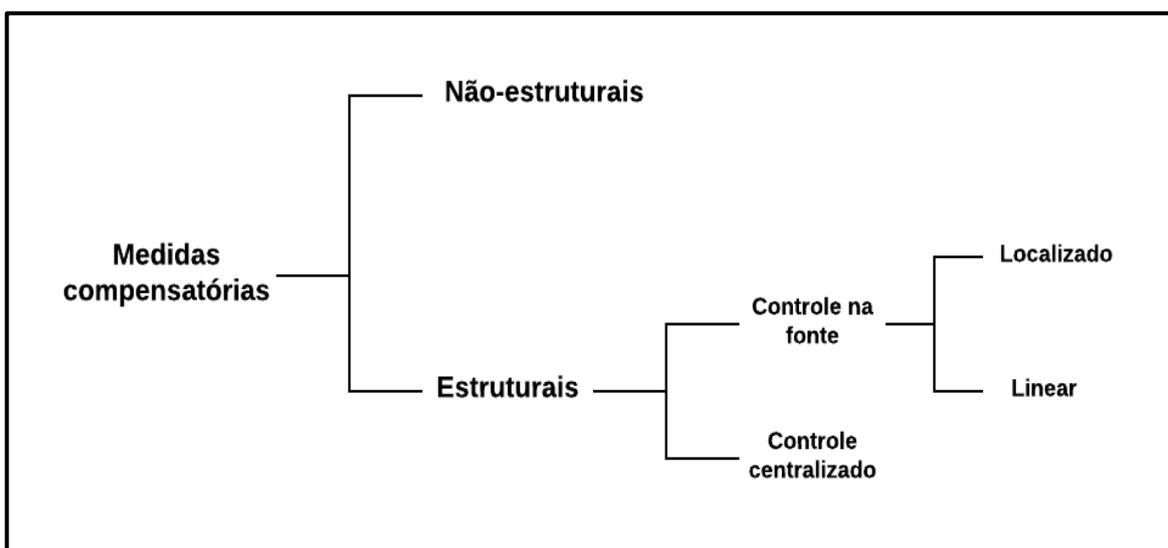


Figura 3.9 Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas urbanas (Adaptado de Righetto, 2009).

As técnicas não-estruturais, segundo (LOURENÇO, 2014), incluem normas e regulamentos que disciplinam a ocupação e o uso do solo, bem como estratégias de educação ambiental, conforme já falado anteriormente, e resumido a seguir na Tabela 3.2 que agrupa em categorias as medidas não-estruturais.

Tabela 3.2 Categoria de medidas não estruturais (Righetto, 2009).

PRINCIPAIS MEDIDAS	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS
Educação pública	Educação pública e disseminação do conhecimento
Planejamento e manejo da água	Equipe técnica capacitada Superfícies com vegetação Áreas impermeáveis desconectadas Telhados verdes Urbanização de pequeno impacto
Uso de matérias e produtos químicos	Uso de produtos alternativos não poluentes Práticas de manuseio e de armazenamento adequadas
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	Varrição das ruas Coleta de resíduos sólidos Limpeza dos sistemas de filtração Manutenção das vias e dos dispositivos Manutenção dos canais e cursos d'água
Controle de conexão ilegal de esgoto	Medidas de prevenção contra a conexão ilegal Fiscalização: detecção, retirada e multa Controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos
Reúso da água pluvial	Jardinagem e lavagem de veículos Sistema predial Fontes e lagos

Já entre as técnicas compensatórias estruturais destacam-se os reservatórios de detenção e retenção, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração que funcionam a partir dos princípios básicos de infiltração e armazenamento.

Os sistemas de drenagem que utilizam o princípio de armazenamento funcionam como estruturas de regulação, atuando no amortecimento de vazões e reduzindo os impactos a jusante. Já as estruturas que utilizam o princípio da infiltração têm a finalidade de reter o escoamento gerado na bacia com a infiltração no próprio local, reduzindo, assim, o impacto do escoamento excedente da carga de poluentes lançados no corpo receptor, os quais estão associados ao aumento da impermeabilização do solo. (RIGHETTO, 2009).

A classificação que considera a localização na bacia é denominada controle na fonte quando as soluções empregadas ocorrem em dispositivos de pequena dimensão e localizadas próximos aos locais onde os escoamentos são gerados. Por serem dispositivos de pequenas dimensões, podem ser padronizados e apresentam baixo custo, porém os custos de manutenção e operação podem ser elevados devido à multiplicação de unidades. (CANHOLLI, 2013).

O controle na fonte permite a otimização dos sistemas tradicionais uma vez que promovem a redução e o retardo do escoamento. (SUDERHSA, 2002). Os dispositivos de controle na fonte são denominados lineares quando possuem o comprimento extenso quando comparados à largura e à profundidade, sendo mais indicados para drenagem de sistemas viários. Quando os dispositivos apresentam espaços delimitados com largura e comprimento não muito diferentes, são denominados localizados e são indicados para áreas onde não há disponibilidade de espaço (ADASA, 2018). São exemplos as trincheiras de infiltração, planos e pavimentos permeáveis, telhados verdes, micro reservatórios e outros.

As trincheiras de infiltração (Figura 3.10) são dispositivos lineares que recolhem os deflúvios promovendo o amortecimento e a infiltração no solo natural. Esse tipo de dispositivo é preenchido por brita de material granular uniforme revestida por um filtro geo-têxtil, que tem função estrutural e de impedir a passagem de sedimento (ADASA, 2018).



Figura 3.10 Trincheira de infiltração (Tassi *et al.*, 2016).

Os pavimentos permeáveis (Figura 3.11) também promovem a infiltração das águas pluviais através de concreto ou blocos porosos em sua camada superior e conduz a água para um reservatório composto de material granular na base do revestimento (ADASA, 2018). Além do controle quantitativo e qualitativo, aumentam a segurança e o conforto nas vias devido a diminuição de derrapagens e ruídos. (SOUZA *et. al.*, 2012).



Figura 3.11 Pavimento permeável (Lourenço, 2014).

Outro tipo de estrutura de controle na fonte são os telhados verdes (Figura 3.12) que tem como diferencial o provimento de amenidades paisagísticas (GONÇALVES, 2018). Os telhados funcionam como reservatório provisórios de água através de uma cobertura vegetal (SUDERHSA, 2002).



Figura 3.12 Telhado verde (Lourenço, 2014).

Já as obras que visam controlar os escoamentos das bacias e sub-bacias com o uso de reservatórios são as técnicas de controle centralizados, que por meio do armazenamento dos volumes escoados, obtém-se o amortecimento dos picos de enchentes. (CANHOLLI, 2013). Destacam-se entre as estruturas de controle centralizado as bacias de retenção e detenção. As bacias de retenção (Figura 3.13) são reservatórios que possuem lâminas de água permanentes com finalidade recreacional e paisagística (CANHOLLI, 2013). Tais estruturas são utilizadas não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também contribuem para melhoria da qualidade da água (TUCCI, 2003). As bacias de retenção

podem controlar extensas áreas de drenagem, liberando descargas relativamente pequenas (POMPÊO, 2000).

As bacias de retenção (Figura 3.14), de acordo com Canholli, (2013) funcionam sob o mesmo princípio das bacias de retenção e são normalmente projetadas para reter águas superficiais apenas durante e após as chuvas, portanto ficam secas durante o período de estiagem. Além do armazenamento, pode ocorrer nas bacias de retenção e detenção a infiltração, sendo comum, principalmente nas técnicas de retenção, associar os processos de armazenamento e infiltração (CARVALHO, 2018).



Figura 3.13 Bacia de retenção (Lourenço, 2014)



Figura 3.14 Bacia de detenção (FCTH, 2013).

Trabalhos como o de Moreira (2017) e Silvestri (2018) adotam como princípio básico a minimização dos impactos hidrológicos e ambientais por meio de um projeto de drenagem dotado de técnicas alternativas, acoplando-se trincheiras de infiltração ao sistema clássico de drenagem (Figura 3.15).

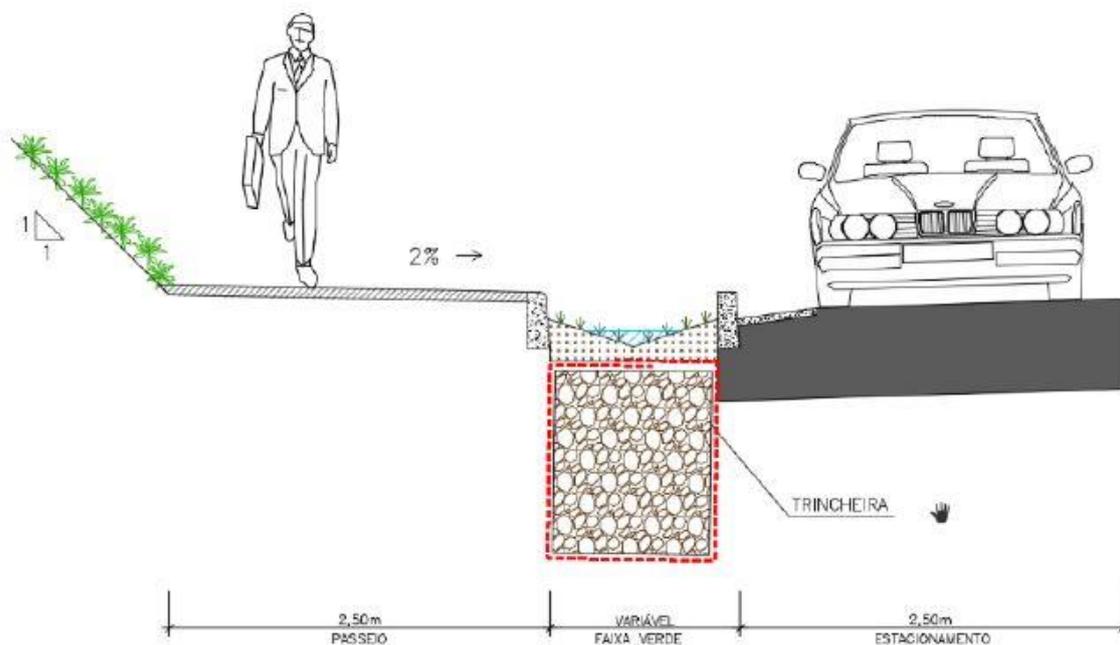


Figura 3.15 Exemplo de aplicação de trincheiras de infiltração

Moreira (2017), por meio da ação combinada de trincheiras e células de amortecimento, verificou ganhos significativos em termos de realimentação do lençol subterrâneo, assegurando melhores condições de sustentabilidade para o empreendimento. Já Silvestri (2018), estabeleceu uma análise comparativa entre o método convencional de drenagem e o método de trincheiras, verificando que estes proporcionam benefícios sociais e econômicos relacionados a redução da probabilidade de alagamentos, e também, benefícios ambientais relacionados a redução dos processos erosivos e, conseqüentemente, atenuando os processos de assoreamento e de degradação dos corpos d'água a jusante.

A adoção das medidas compensatórias, conforme exposto ao longo deste capítulo, promove a otimização dos sistemas de drenagem, diminuindo os impactos decorrentes das águas pluviais na qualidade de vida dos habitantes de áreas urbanas, resultando na melhoria infraestrutura para as cidades. A Tabela 3.3 apresenta as principais diferenças entre a abordagem convencional e sustentável, o que ratifica as vantagens das técnicas alternativas para o sistema de drenagem

Tabela 3.3 Diferenças entre as abordagens de drenagem convencional e sustentável (Adaptado de MARSALEK e SCHREIER, 2009).

Abordagem convencional	Abordagem sustentável
Controle na fonte (técnicas localizadas)	
Escoamento de telhados corre direto ao sistema de drenagem.	Telhados verdes que promovem o armazenamento de deflúvios, diminuem o escoamento, amortecem a vazão de pico e permitem a evapotranspiração.
Retirada da camada superficial do solo, com compactação do solo durante a construção de casas e retirada da camada orgânica superficial do solo.	Evita a compactação do solo e restaura sua porosidade do solo após construção, e preserva camada superficial orgânica de solo abaixo do jardim.
Utilização de água potável provenientes de abastecimento público para irrigação de jardins.	Coleta da água da chuva para irrigação
Remoção de árvores de grande porte devido ao risco de dano a residências.	Preservação das árvores na propriedade para atenuação de vazões de pico.
Controle na fonte (técnicas lineares)	
Pavimentação de vias e calçadas com escoamento indo direto para o sistema de drenagem.	Minimização da espessura das vias, remoção de guias e sarjetas com a utilização de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração para promover controle de cheias.
Construção do sistema de drenagem escoando diretamente nos corpos hídricos.	Construção de valas de detenção e áreas para amortecimento da vazão de pico e concentração de poluentes em rios.
Acumulação de contaminantes na superfície das vias que são escoados diretamente para o sistema de drenagem.	Controle dos contaminantes e carreamento dos poluentes da superfície por meio de técnicas de detenção e retenção.
Controle centralizado	
Águas pluviais são despejadas diretamente em corpos hídricos.	Criação de zonas de amortecimento e área úmidas artificiais para o estoque de excesso de águas precipitadas e retenção de poluentes.
Canalização de corpos hídricos em zonas urbanas para aumentar a vazão do escoamento, minimizar a erosão de margens e aumentar a velocidade do fluxo escoado.	Manter corpos hídricos com cobertura natural com estocagem de águas pluviais em zonas de amortecimento.
Planícies de inundações são construídas como estruturas de defesa	Áreas de planícies de inundação são zonas de amortecimento para deter temporariamente o escoamento
Todo o sistema de drenagem é conectado com suas saídas sendo fontes de poluição pontual para corpos hídricos.	Evita efeitos cumulativos da poluição por meio de sistemas de infiltração e retenção.

3.4.3.1. Experiências brasileiras de drenagens sustentável

São observados avanços significativos, no Brasil, no que se refere à aplicação de medidas compensatórias de sistemas de drenagem urbana. Abaixo são citados casos de sucesso da utilização de técnicas alternativas de manejo das águas urbanas em algumas cidades brasileiras.

O Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBS é resultado de um dos programas do PDDU de Belo Horizonte. O Programa prioriza a reintegração dos cursos d'água à paisagem e não adota a canalização como única solução para a drenagem. São previstas algumas medidas como a adoção de calhas vegetadas (aumentando a permeabilidade do solo); a implantação de parques e de áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e a implantação de bacias de retenção (diminuindo riscos de inundações). A Figura 3.16 mostra a sub-bacia localizada no Parque 1º de Maio. Esta sub-bacia passou por intervenções, que alcançaram melhorias efetivas como aumento da qualidade das águas do córrego 1º de Maio e redução dos riscos de inundações (COSTA *et al.*, 2008)



Figura 3.16 Parque da sub-bacia do córrego 1º de Maio (FCTH, 2013).

O edifício Harmonia 57, localizado na cidade de São Paulo, foi idealizado para reduzir a vazão de drenagem após a construção do edifício à vazão de pré-implantação, por meio da utilização de medidas compensatórias como telhado verde e canteiros drenantes. Além disso, ocorre a coleta, tratamento e armazenamento de águas de chuva e da água de drenagem para

consumo não potável na própria edificação (DIAS; CASTAGNA, 2013). A Figura 3.17 mostra o telhado verde do edifício Harmonia 57.



Figura 3.17 Telhado verde sobre laje de concreto no edifício Harmonia 57 (DIAS; CASTAGNA, 2013).

O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre teve como sua principal diretriz não transferência dos efeitos da urbanização para outros pontos da cidade, ou seja, a recuperação da infiltração natural e a retenção ou detenção das águas pluviais e, por isso, a principal solução adotada foram os reservatórios de detenção, implantados em diversos pontos da cidade (TUCCI, 2002). As Figuras 3.18 e 3.19 apresentam a Av. Goethe na cidade de Porto Alegre que sofria alagamento antes das ações do Plano Diretor de Drenagem Urbana.



Figura 3.18 Av. Goethe antes da implantação de ações do PDDU (FCTH, 2013).



Figura 3.19 Av. Goethe depois da implantação das ações do PDDU (FCTH, 2013).

Observa-se a existências de algumas iniciativas dispersas na tentativa de mudança de paradigmas nas soluções de drenagem urbana empregadas predominantemente em alguns municípios do país. No entanto, ainda se verifica a necessidade de uma visão que contemple a integração dos setores envolvidas na sustentabilidade da drenagem urbana (CRUZ *et al.*, 2007).

3.5. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta no planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas. Um modelo hidrológico permite equacionar os processos, representar, entender e simular o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998).

A modelagem na drenagem urbana se propõe atender a diversos objetivos, tais como a avaliação de todas as respostas da bacia, como parte da estratégia e planejamento detalhado do sistema, avaliação da poluição, gerenciamento operacional, controle em tempo real e análise de interação entre sub-bacias (MAKSIMOVIC, 2001).

Os modelos computacionais para drenagem urbana podem ser utilizados para o planejamento, o dimensionamento e a operação de um sistema e podem ser entendidos com a associação de modelos tipo chuva-vazão com modelos de propagação de escoamentos. O principal objetivo de um modelo de drenagem é a representação do escoamento, precipitação, interceptação, infiltração, evapotranspiração e interação destes processos com a rede (RIGHETTO, 2009).

Aliados aos modelos de drenagem urbana, ferramentas como as de geoprocessamento, que trazem grandes facilidades de entrada de dados e de representação geométrica dos sistemas de drenagem, e, além disso, também se incorporam aos modelos diversas ferramentas de

pós-processamento que apresentam facilidade de elaboração de diversos tipos de mapas e facilidade de construção de gráficos para representar as variáveis envolvidas (RIGHETTO, 2009).

3.5.1. O modelo SWMM

O *Storm Water Management Model* (SWMM) foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental americana (EPA), amplamente utilizado para planejamento, análise e projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais.

O SWMM é um modelo chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, sobretudo, em áreas urbanas. O modelo pode ser utilizado para simulação de um único evento chuvoso, assim como para uma simulação contínua de longo prazo. Para realizar a simulação, o SWMM utiliza soluções discretas ao longo do tempo, utilizando os princípios de conservação de massa, energia e da quantidade de movimento (ROSSMAN, 2012). Os métodos utilizados para modelar o escoamento derivado da chuva contemplam vários processos como o escoamento superficial, infiltração, águas superficiais, propagação de chuva, inundações, comportamento e evolução da qualidade da água.

Para a simulação, a bacia é dividida em sub-bacias com características uniformes. A infiltração pode ser determinada pelo método de Horton, pelo método *Green-Ampt* ou SCS. O método SCS requer menos dados de entrada quanto comparadas com os demais, sendo seu uso aconselhável para solos modificados, como é o caso das bacias urbanas (COSTA, 2013).

O SCS é um método experimental e possibilita estimar a parcela da precipitação efetiva que gera o escoamento superficial utilizando como parâmetro principal o coeficiente Curva Número (CN). As equações 3.1 e 3.2 são as utilizadas pelo método, que calculam a vazão de escoamento (Q), a precipitação total (P) e a capacidade de armazenamento do solo (S).

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{Equação 3.1}$$

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 10 \right) \quad \text{Equação 3.2}$$

O parâmetro CN é baseado no tipo de solo e nas suas condições de uso e ocupação conforme apresentado nas Tabelas 3.4 e 3.5 respectivamente

Tabela 3.4 Tipos de solo (Adaptado de Tucci, 2002).

TIPO DE SOLO	CARACTERÍSTICA
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solo que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argila e pouco profundos com baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Tabela 3.5 Valores de CN para bacias urbanas (Adaptado de Tucci, 2002).

UTILIZAÇÃO OU OCUPAÇÃO DO SOLO	A	B	C	D
Zona cultivadas				
sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Paisagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Paisagens ou terrenos baldios ou em boas condições	39	61	74	80
Bosque ou zonas				
coberturas ruins	45	66	77	83
coberturas boas	25	55	70	77
Espaços abertos e parques				
com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais	89	92	94	94
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes (m ²)				
% média impermeável				
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Pavimento asfaltado e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Pavimento de paralelepípedo	76	85	89	91
Pavimento com terra	72	82	87	89

O SWMM teve sua primeira versão na década de 70 e vem recebendo diversas atualizações, e conta com a integração entre essa ferramenta e os ambientes SIG e CAD. A versão adaptada PCSWMM é bastante utilizada, pois facilita tanto o cenário de entrada de dados quanto a visualização dos resultados. Dessa forma, é uma importante ferramenta no estudo de técnicas de manejo de águas pluviais, inclusive, no estudo de técnicas de baixo impacto (RIGHETTO, 2009).

Trabalho como o de Costa (2013), Fileni (2016), Sousa (2016) e Santini Junior (2018) adotaram o PCSWMM para analisar o comportamento quantitativo e qualitativo das águas urbanas.

Costa (2013) e Fileni (2016) tiveram seus modelos aplicados na região do Distrito Federal. Costa (2013) analisou a bacia do Lago Paranoá e os resultados evidenciaram que a carga de poluição difusa é bastante significativa e a partir da ferramenta foi possível estimar vazões de precisão satisfatória. Já Fileni (2016) avaliou técnicas compensatório para a região da Ceilândia-DF e os resultados apontaram redução tanto da vazão de pico como do volume total inundado.

Sousa (2016) analisou por meio da aplicação do SWMM os efeitos taxa de ocupação urbana e a eficiência do uso de reservatórios de retenção em um loteamento na zona metropolitana da cidade de João Pessoa (PB). Verificou-se que com a urbanização, a vazão de escoamento superficial na bacia pode chegar a ser 12,6 vezes maior do que a vazão de escoamento de um cenário pré urbanização e, com a utilização de estruturas para amortecimento das vazões máximas, esta vazão pode ser reduzida em até 64%.

A área de estudo de Santini Junior (2018) foi a sub-bacia de um córrego localizado na Ilha Solteira-SP. Foi proposta um modelo de rede de drenagem para a região e os resultados obtidos apresentaram um bom satisfatório, com consistência de dados considerada satisfatória.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho teve como objeto de estudo o sistema de drenagem urbana da Região Administrativa XIX – Candangolândia. A Figura 4.1 ilustra as etapas que compõe a metodologia para alcançar os objetivos propostos no Capítulo 2.

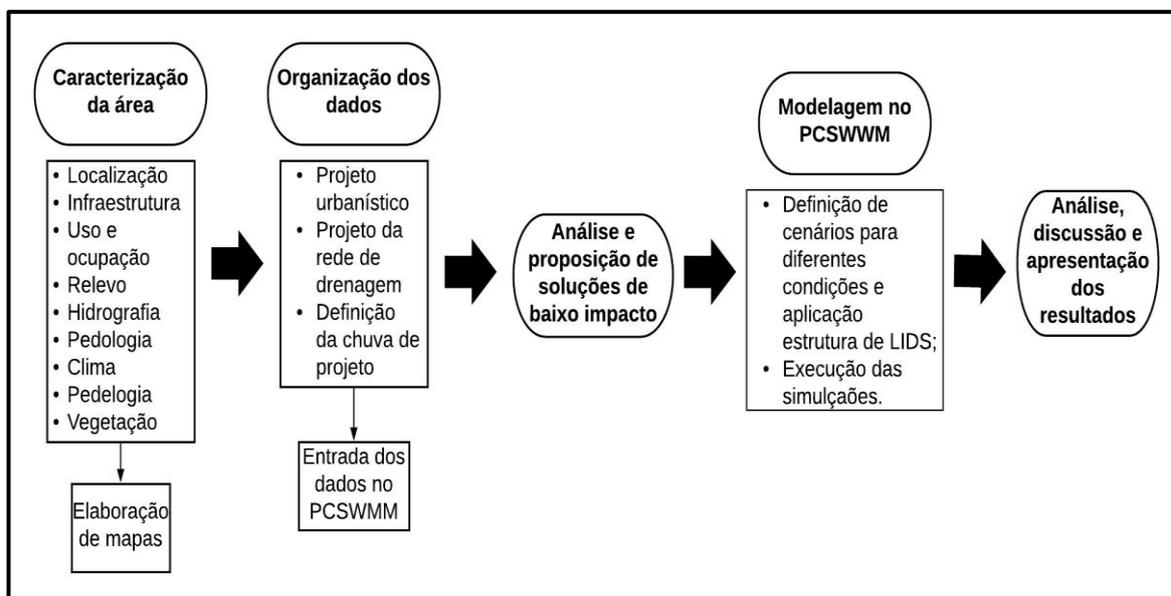


Figura 4.1 Fluxograma das etapas do projeto.

Neste capítulo é apresentada a caracterização da área em estudo, que consiste na descrição do uso e ocupação do solo, elementos da rede de drenagem instalada na região, informações sobre a hidrografia, pedologia, uso do solo, etc. Com o auxílio do programa ArcGIS, a caracterização da área compreendeu a confecção dos seguintes mapas temáticos: mapa do sistema de drenagem; mapa de uso e ocupação e mapa de declividade. Tais informações serviram de dados de entrada para as simulações hidráulica-hidrológica.

A simulação foi feita com o SWMM, dentro do ambiente do programa PCSWMM, e simulou o comportamento dos processos hidrológicos na RA XIX – Candangolândia em diferentes cenários. O método de quantificação do escoamento superficial e da infiltração escolhido para ser utilizado no modelo foi o método da Curva Número (método SCS) e a forma de escoamento foi adotada como a da onda dinâmica. A seguir são detalhados os cenários simulados juntamente aos seus dados de entrada e como foram obtidos. Também é explicado os aspectos da simulação com cada tipo de chuva.

A partir das simulações foi possível identificar os principais problemas da rede de drenagem e realizar uma comparação entre nos períodos pré e pós-desenvolvimento. Em seguida,

foram propostas soluções de baixo impacto que possibilitassem a minimização dos impactos e otimizem a eficiência do sistema de drenagem urbana da região.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo corresponde à Candangolândia, que tem sua origem confundida com o início da construção de Brasília. A região que hoje é a Candangolândia abrigava os candangos, como eram chamados os operários que viam de outras regiões para que trabalhassem na construção da nova capital, e teve seu primeiro acampamento construído em 1956 (LEÃES, 2014).

Atualmente, a Candangolândia corresponde à Região Administrativa-RA XIX do Distrito Federal. Como pode ser visto na Figura 4.2, a localização da Candangolândia limita-se:

- Ao sul, RA XXIV – Park Way;
- Ao norte, RA I – Brasília;
- A leste, RA XVI – Lago Sul;
- A oeste, RA VII – Núcleo Bandeirante e RA X - Guarã.

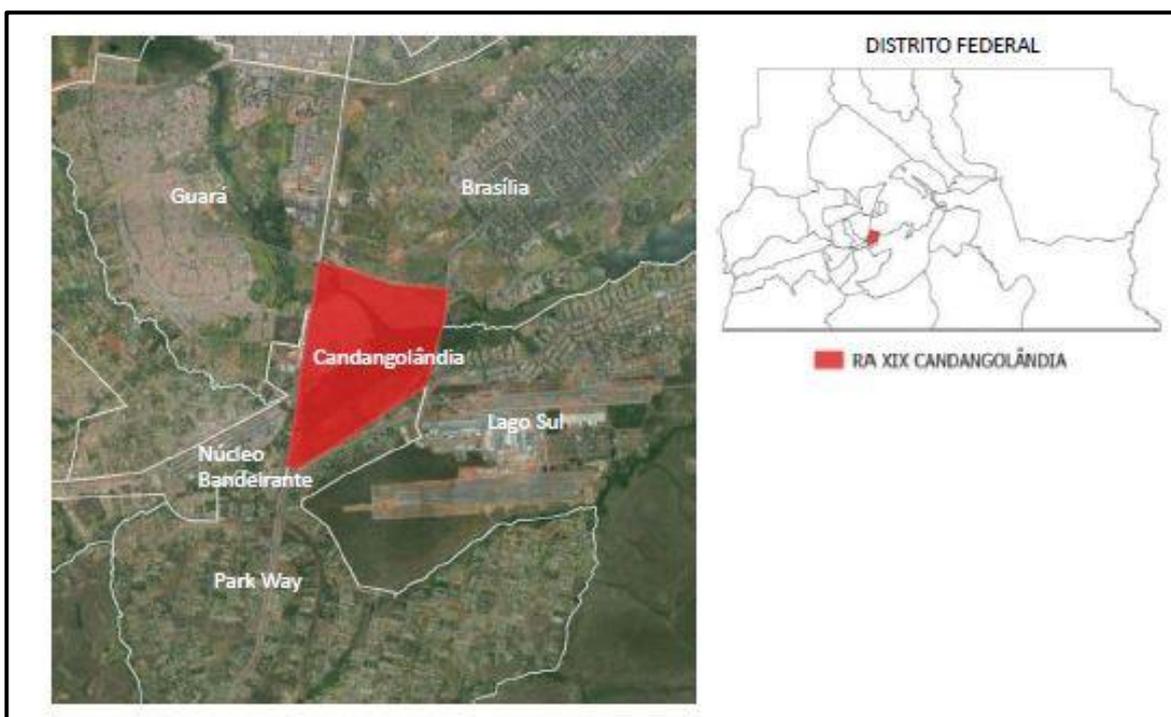


Figura 4.2 Localização da RA XIX – Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).

Segundo os dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio de 2018 (PDAD 2018), a população urbana estimada da Candangolândia é de 16.489 habitantes. A totalidade dos

domicílios conta com abastecimento de água e 97% contam com coleta de rede de esgoto. Já a rede de água pluvial atende 76,6% dos domicílios pesquisados.

4.4.1. Drenagem Urbana

De acordo com o PDDU-DF e com o Plano Distrital de Saneamento Básico, a Candangolândia possui seu sistema de drenagem implantado com uma rede cobrindo essa área correspondente 2,52 km². A Figura 4.3 apresenta o mapa do sistema de drenagem urbana da área de estudo. O mapeamento da drenagem urbano foi realizado por meio da base de dados disponibilizada pela ADASA e NOVACAP.



Figura 4.3 Mapa do Sistema de Drenagem Urbana da RA XIX- Candangolândia.

A RA-XIX encontra-se em local onde a rede de drenagem é considerada problemática. Isso deve ao fato do sistema ter sido implantado há pelo menos 30 anos e, ao longo dos anos, a região sofreu grande adensamento populacional e, conseqüente, aumento da impermeabilização do solo, apresentando alto coeficiente de impermeabilização. A Figura 4.4 apresenta o processo de ocupação da região. A RA em questão apresenta duas áreas críticas de alagamento: Via do Contorno e Ruas do Transportes próximo ao balão e CBMDF.

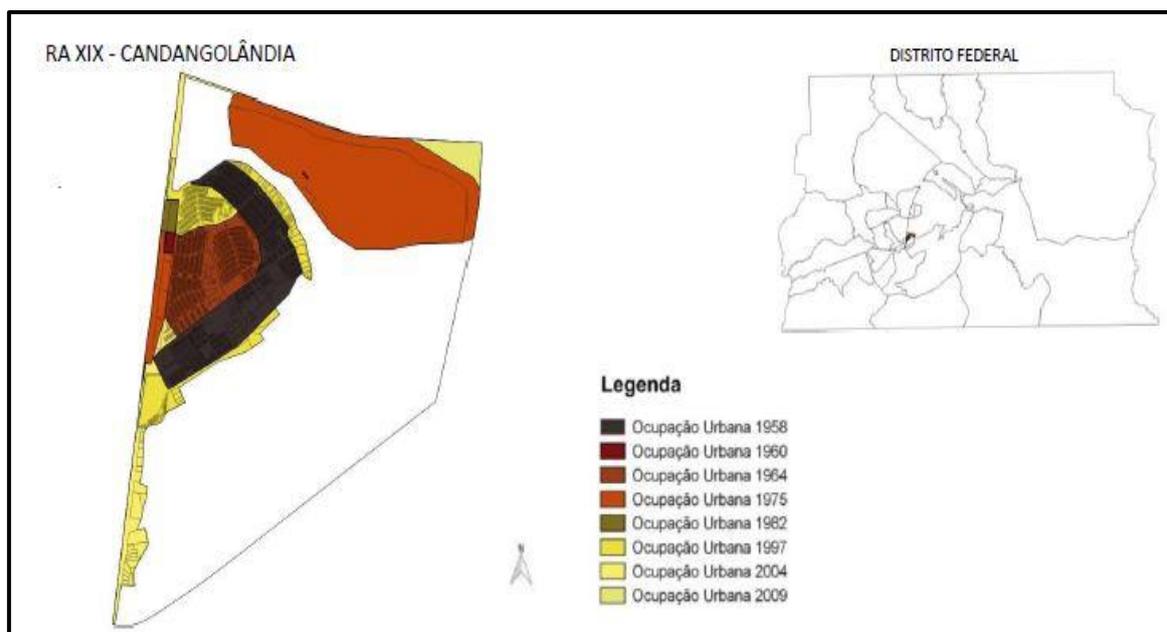


Figura 4.4 Processo de ocupação urbana da RA XIX - Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).

A Figura 4.5 a seguir apresenta o mapa de suscetibilidade a alagamento no Distrito Federal e a Candangolândia encontra-se em uma região de médio e alto risco de alagamento de acordo com a metodologia utilizada pelo Plano Distrital de Saneamento Básico que adotou os seguintes parâmetros:

- Declividade;
- Evento crítico monitorado o avaliado (Defesa Civil);
- Ocupação do solo;
- Densidade;
- Sistema de drenagem;
- Tipo de solo;
- Pluviometria;
- Volumes excedentes (PDDU- DF).

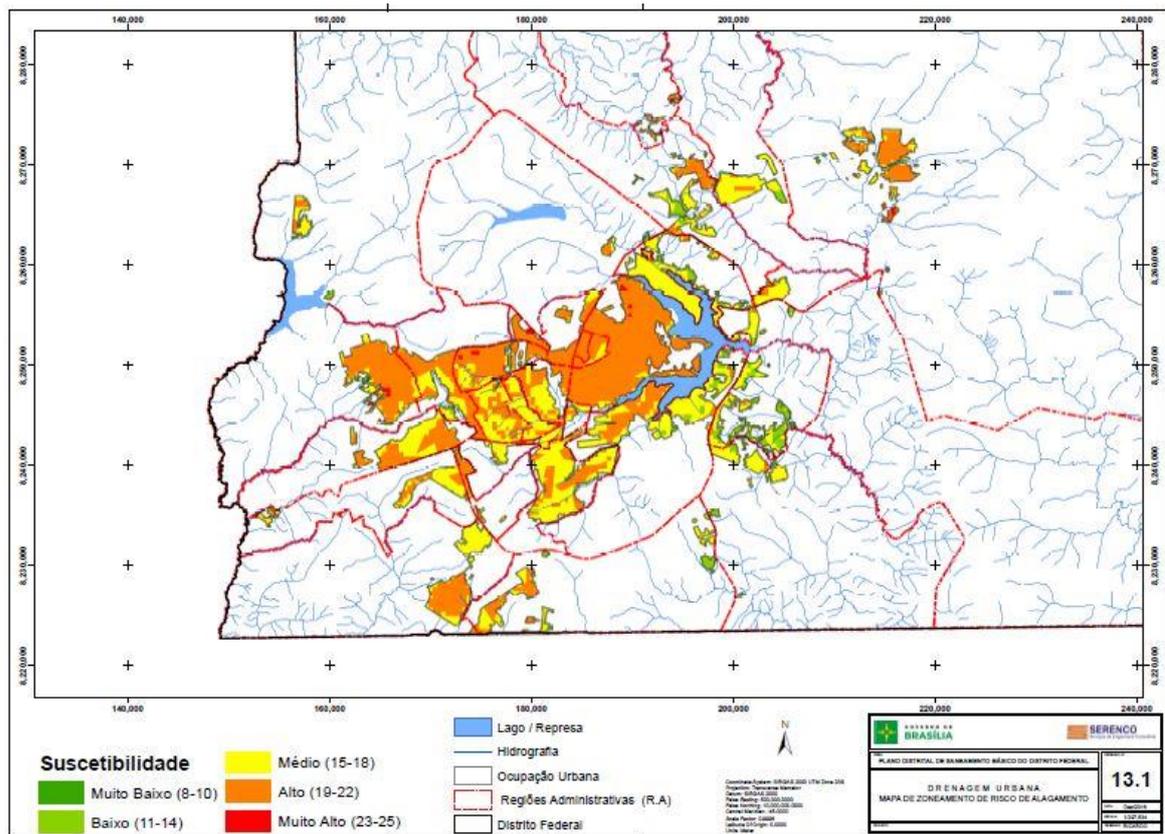


Figura 4.5 Mapa de Zoneamento de Risco de Alagamento no Distrito Federal (Serenco, 2017).

4.1.2. Ordenamento territorial

O Plano Diretor Local (PDL) da Região Administrativa da Candangolândia foi instituído pela Lei Complementar nº 97 de 1998 que regula o uso e a ocupação do solo na região. O território da RA XIX está inserido na APA das Bacias do Gama e Córrego do Veado, e conforme o macrozoneamento do PDOT-DF, localiza-se nas Zona Urbana de Consolidação e Zona de Conservação Ambiental. O PDL divide o uso do solo urbano em residencial e não-residencial. O uso não residencial divide-se em comercial, institucional e industrial. Além disso, a região compreende a Área Relevantes de Interesse Ecológico (ARIE) “Santuário de Vida Silvestre do Riacho Fundo”, Parque Ecológico da Candangolândia e o Jardim Zoológico de Brasília. O Santuário é área de proteção permanente criada através do Decreto nº 1.138 de 1988 e o Parque foi criado pela Lei nº 1300 de 1996.

As Figuras 4.6 e 4.7 a seguir representam, respectivamente, o zoneamento territorial e mapa de uso e ocupação da área de estudo. Para a elaboração do referido mapa foi utilizada ortofoto disponibilizada pelo GeoPortal/DF da SEGETH datada de 2019. O mapa de uso e

ocupação foi elaborado por vetorização manual em escala de 1/5000 e foram propostas quatro categorias para a classificação do uso e ocupação.

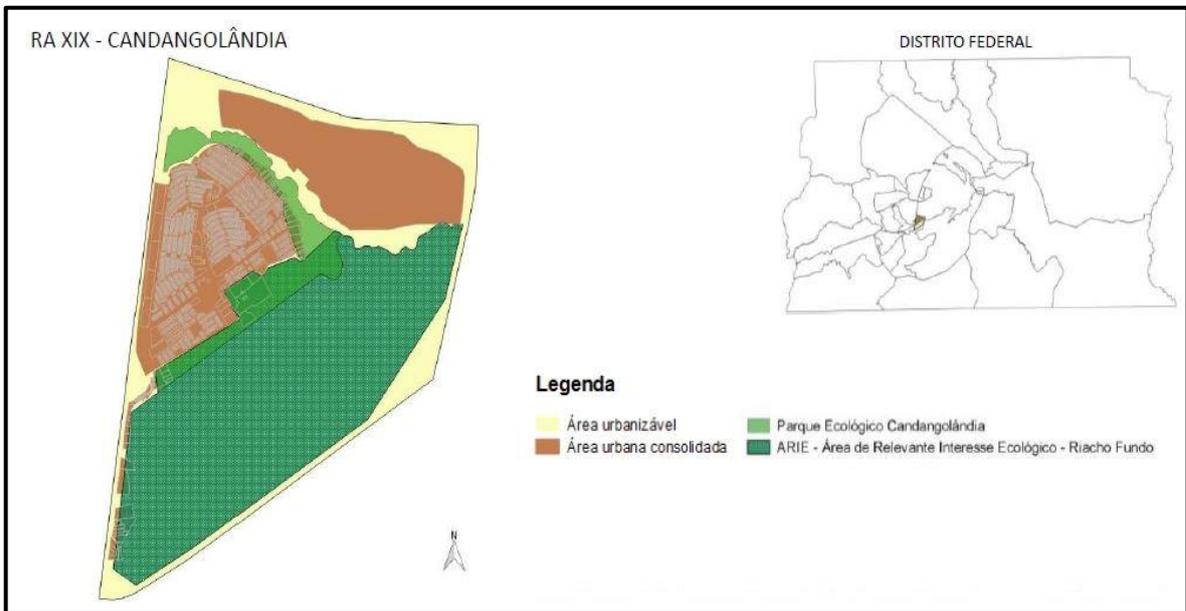


Figura 4.6 Zoneamento da RA XIX – Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2015).

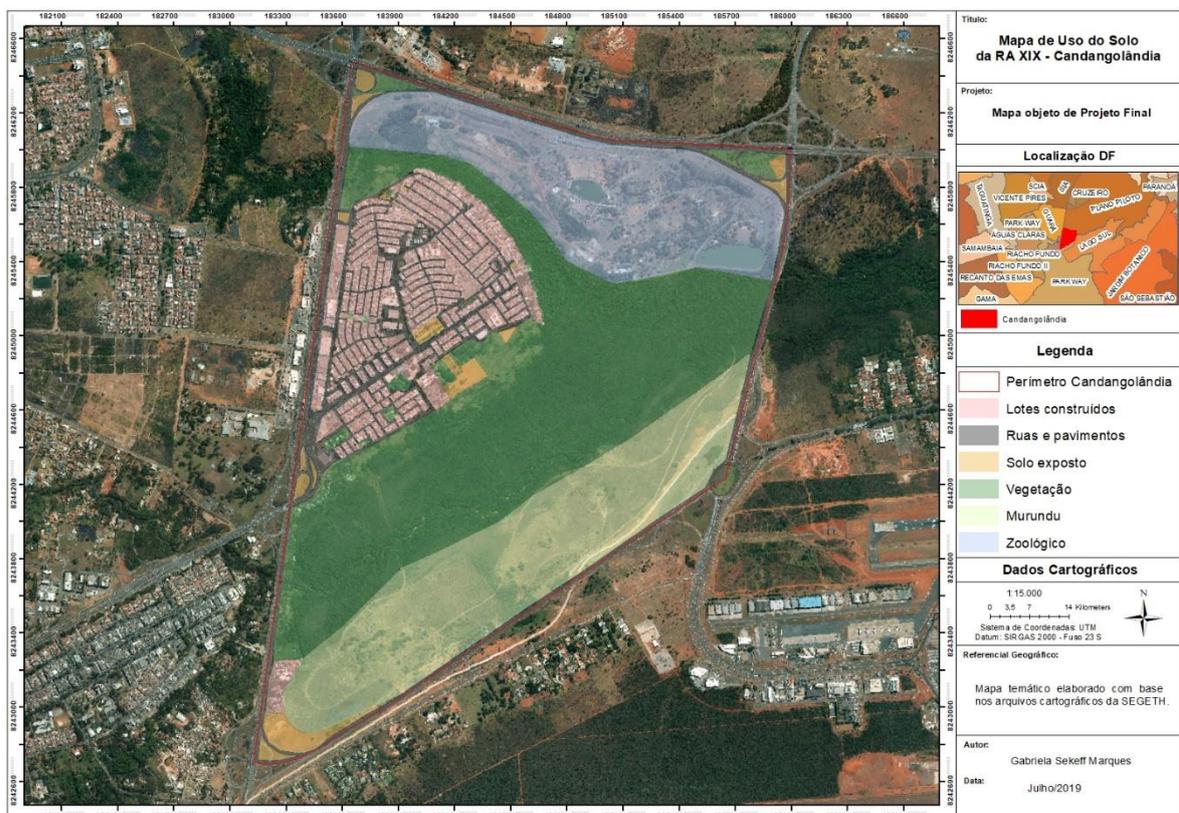


Figura 4.7 Mapa de uso do solo da RA XIX – Candangolândia

4.1.3. Hidrografia

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do Lago Paranoá e engloba o córrego Guará e curso final do córrego Riacho Fundo. O córrego Guará é afluente do córrego Riacho Fundo, encontro este que ocorre dentro da Candangolândia. O córrego Riacho Fundo, por sua vez, se estende até o encontro do Lago Paranoá fato que ocorre fora da região administrativa. A Figura 4.8 mostra a hidrografia da região.

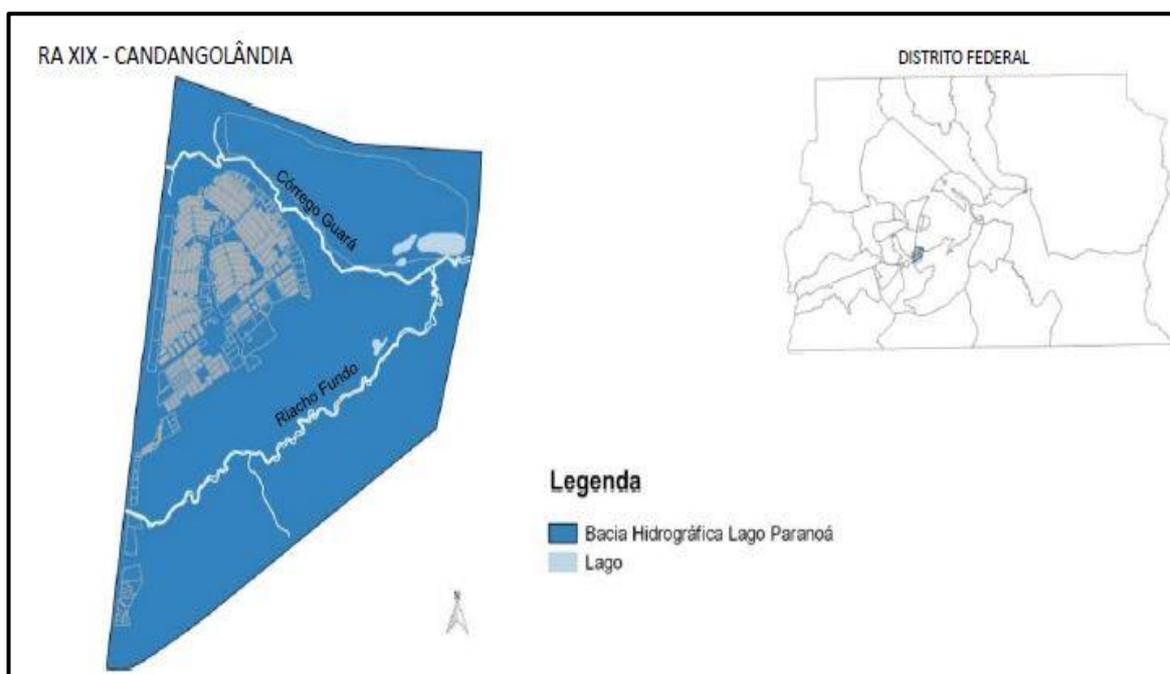


Figura 4.8 Hidrografia e Bacia Hidrográfica da RA XIX - Candangolândia (Adaptado de CODEPLAN, 2018).

4.1.4. Clima, solo e vegetação

A Candangolândia está dentro do território Distrito Federal que se caracteriza pelo clima com duas estações bem definidas ao longo do ano. Uma estação fria e seca, de maio a setembro, e outra estação quente e úmida, de outubro a abril. A temperatura média anual varia de 18° a 22° C (LEÃES, 2014). A vegetação predominante na região é Cerrado com manchas de cerrado denso e campo limpo (Figura 4.9).

De acordo com a classificação da Embrapa, a região de estudo, assim como a cidade de Brasília e outras áreas urbanizadas, é caracterizada como Área Urbana, onde a cobertura do solo já foi modificada a ponto de perder as características naturais. Para a finalidade deste trabalho foi considerado que o solo das sub-bacias analisadas possui característica de Latossolos Vermelho-Escuros e Latossolo Vermelho-Amarelos. Estes solos são altamente

intemperizados, profundos e produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, incluídos, portanto, no grupo hidrológico A.



Figura 4.9 Solo e vegetação da RA XIX – Candangolândia.

4.1.5. Relevo

Para obter a caracterização do relevo da Candangolândia, foi necessária gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) com curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro. Depois de gerado o MDE, utilizou-se a ferramenta *Slope* no programa ArcGIS para gerar as declividades. A declividade foi, então, calculada em porcentagem e dividida, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, nas seguintes classes:

- Plano: 0 a 3%;
- Suave-ondulado: 3 a 8%;
- Ondulado: 8 a 20%;
- Forte-ondulado: 20 a 45%;
- Montanhoso: 45 a 75%;
- Forte-montanhoso: > 75%.

A Candangolândia caracteriza-se pelo relevo plano e suave-ondulado, com declividades menores que 8%, conforme pode ser visto no mapa da Figura 4.10 e nas fotos das Figura 4.10.

A partir do MDE foi possível ainda a análise da hipsometria da região que permitiu a melhor visualização dos aspectos topográficos da região. A variação de altitude da área chega a 62,3

metros conforme pode ser visualizado na Figura 4.11. O ponto de menor cota da área está a 1000,00 metros de altitude e o de maior cota a 1062,29 metros de altitude.

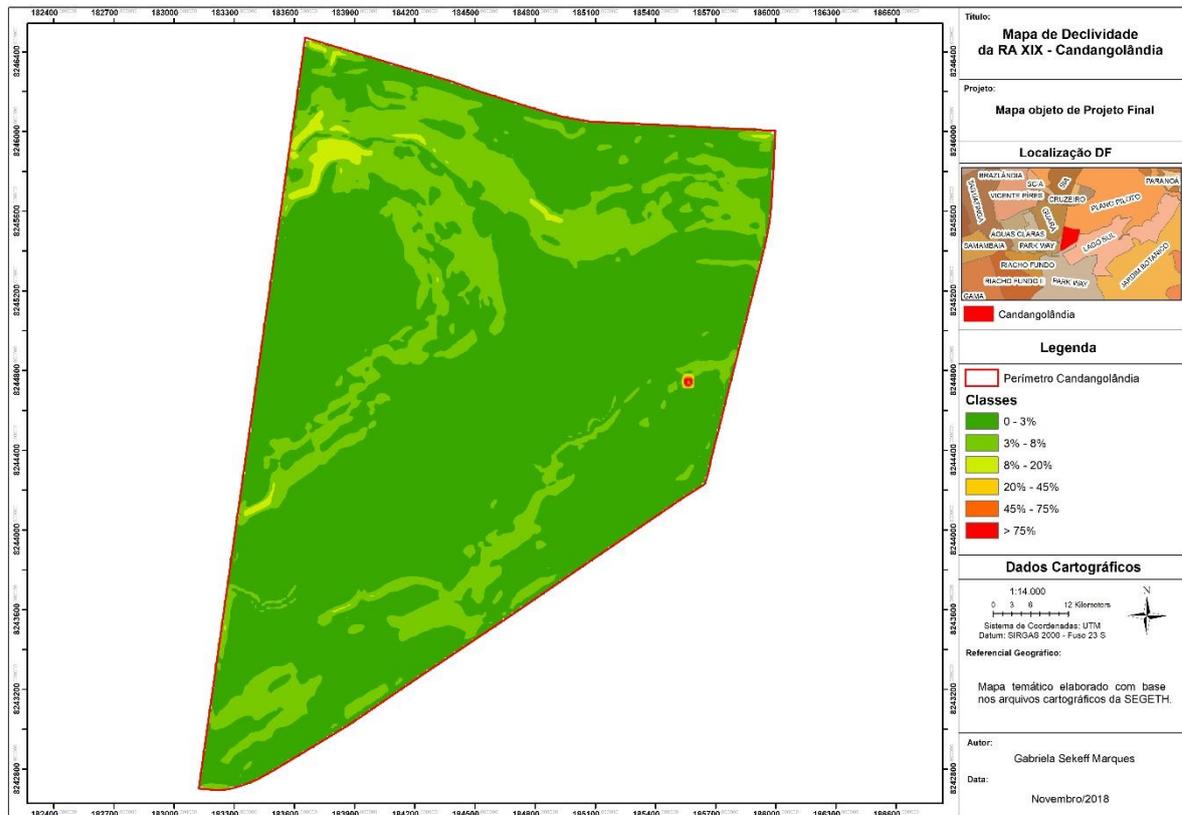


Figura 4.10 Mapa de declividade da RA XIX – Candangolândia.



Figura 4.11 Relevo das ruas da RA XIX – Candangolândia.

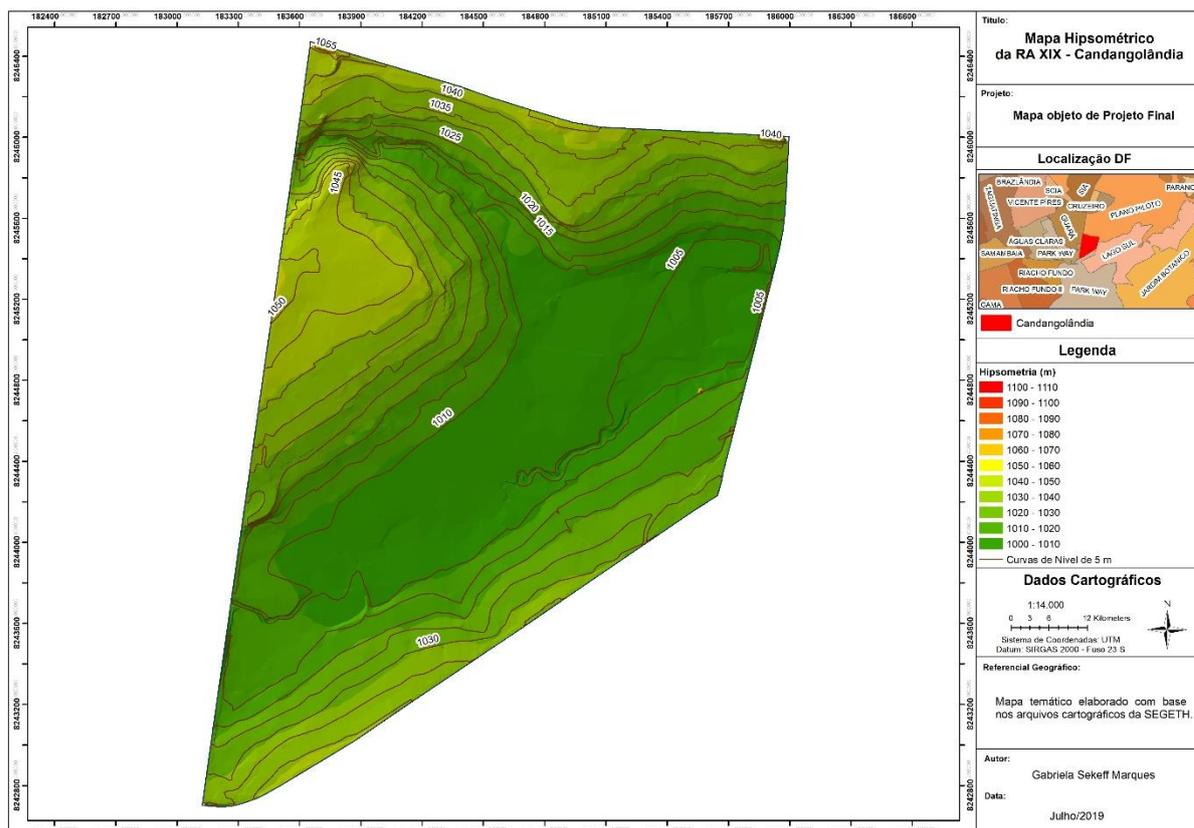


Figura 4.12 Mapa Hipsométrico da RA XIX – Candangolândia.

4.1.6. Uso e ocupação da RA XIX - Candangolândia

Em visita, realizada em 28 de outubro de 2018, verificou-se intenso adensamento urbano formado, majoritariamente, por edificações geminadas com aproveitamento de todo o lote. O arranjo urbano e a pouca disponibilidade de áreas verdes são fatores que prejudicam a infiltração no local, e, portanto, favorecem com que águas urbanas escoem diretamente nos sistemas de drenagem (Figura 4.13). Além disso, foram avistadas pessoas lavando seus carros na própria via de circulação, processo que acarreta no transporte de poluentes associados à lavagem de carros para as galerias de drenagem urbana e, consequentemente, para os corpos hídricos. Por fim, outro problema identificado foi a presença de resíduos sólidos em alguns pontos da região, o que pode ocasionar na obstrução do sistema de drenagem (Figura 4.14 e 4.15).



Figura 4.13 Vista superior do arranjo urbanístico da Candangolândia (LEÃES, 2014).



Figura 4.14 Lavagem de carro na calçada.



Figura 4.15 Detritos obstruindo a boca de lobo com grelha.

4.2. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

A simulação foi realizada para diferentes cenários a fim de analisar os efeitos da urbanização sobre o escoamento e analisar com efeitos de tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos da chuva sobre as vazões de pico. Foram elaborados três cenários que se diferenciam quanto ao momento de ocupação e quanto à infraestrutura de drenagem presente.

A avaliação dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico da região, sobretudo, nos impactos no escoamento superficial e na infiltração, foi a partir da simulação de cenários de

pré-desenvolvimento e cenários após a ocupação. Os cenários avaliados com o auxílio da plataforma SWMM foram:

- a) **Cenários Pré-urbanização:** compreendeu a simulação do escoamento superficial e seu comportamento próximo ao natural, quando a interferência humana era mínima;
- b) **Cenário Atual:** compreendeu a simulação do escoamento superficial considerando o uso e ocupação atual;
- c) **Cenário Alternativo:** alocação de dispositivos LID do tipo trincheira de infiltração posicionadas de forma que fiquem distribuídos anteriormente ao lançamento final nos corpos d'água da região

4.3. ANÁLISE DA PROPOSTA DA SOLUÇÃO DE BAIXO IMPACTO

A partir da análise dos dados de entrada foi possível identificar os principais problemas enfrentados na área de estudo e assim, propor arranjos de aplicação de estruturas de LIDs que contribuam para a minimização dos impactos da urbanização na Candangolândia. Algumas opções foram consideradas na metodologia empregada na definição das soluções de baixo impacto para a área estudada. Por se tratar de uma região de extensão considerável, foram priorizados os dispositivos lineares que favorecem a infiltração. A solução de baixo impacto adotada neste estudo foi então a inserção de trincheiras de infiltração que foram distribuídas ao longo da Candangolândia e posicionadas anteriormente ao lançamento final nos corpos d'água da região.

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares capazes de armazenar a água precipitada por tempo suficiente para sua infiltração no solo. São constituídas por valetas preenchidas por material granular, implementadas junto à superfície ou a pequena profundidade. Podem ser aplicadas de maneiras variadas em canteiros centrais e passeios, ao longo do sistema viário, em estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral. A drenagem do excesso de água da trincheira pode ser feita através de um tubo perfurado colocado entre o material granular, no interior da trincheira ou por infiltração no solo por meio de sua base e das paredes laterais (BAPTISTA, 2005).

A técnica de LID empregada no presente trabalho é compatível com a simulação hidrológica a ser executada no *software* PCSWMM, que, por sua vez, é capaz de modelar as trincheiras de infiltração. Na proposta estudada as trincheiras coletam o escoamento superficial da área imediatamente anterior e lançam as águas de escoamento na sub-bacia imediatamente a jusante. A partir da implementação das trincheiras, buscou-se analisar a solução em relação

à sua influência nos processos hidrológicos e o comportamento da rede drenagem combinadas com as estruturas de LIDs.

4.4. MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para alcançar os objetivos traçados neste projeto, foi necessária a organização dos dados no modelo hidrológico. A partir da caracterização preliminar da área em termos de hidrografia, pedologia, relevo e uso e ocupação do solo foram geradas as informações de entrada necessárias para o modelo. A aplicação do modelo PCSWMM exige ainda uma série de outros parâmetros de entrada que subsidiarão a modelagem.

4.4.1. Precipitação

A chuva de projeto foi determinada por meio da curva Intensidade – Duração – Frequência (IDF), utilizando tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Adotou-se Tempo de Retorno de 10 anos por especificação da NOVACAP.

A Curva IDF é definida no PDDU/DF conforme a Equação 4.1 abaixo:

$$I = \frac{1574,7 \cdot Tr^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde,

I = Intensidade (mm/h);

Tr = Tempo de Retorno (anos);

t = tempo de duração da chuva (min).

A estimativa do hietograma de projeto da chuva dada pela curva IDF foi realizada pelo método dos Blocos Alternados, com uma duração de chuva de 24 horas discretizada em intervalos de 5 minutos. As Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam os gráficos que relacionam os valores de precipitação e tempo para as chuvas de projeto utilizadas.

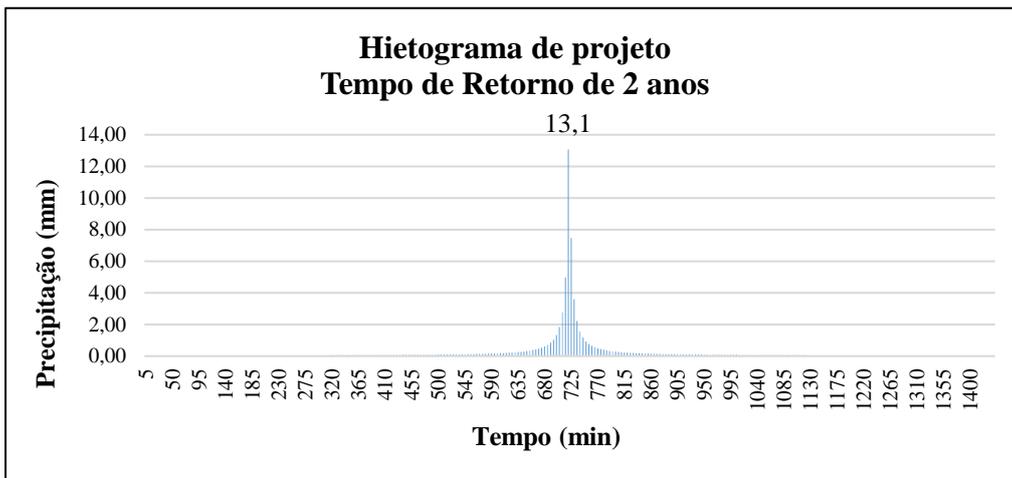


Figura 4.16 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 2 anos

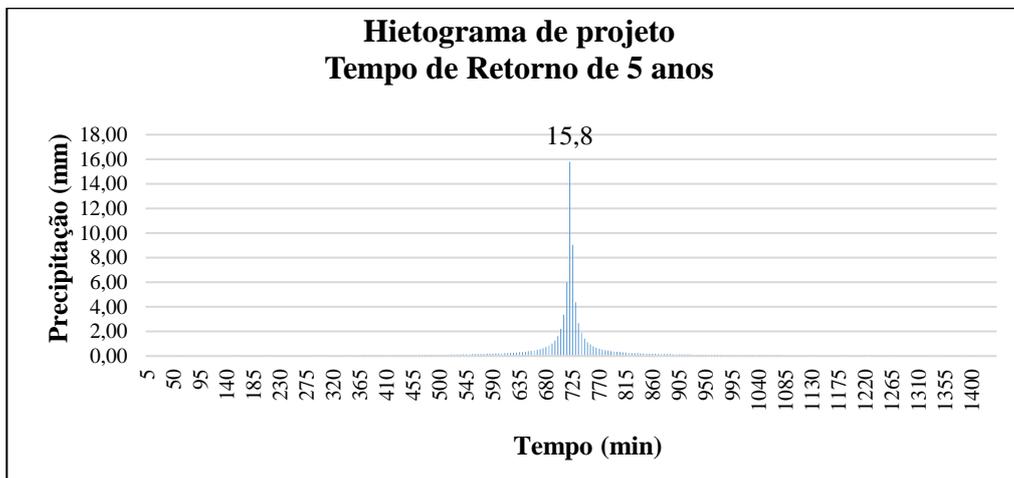


Figura 4.17 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 5 anos

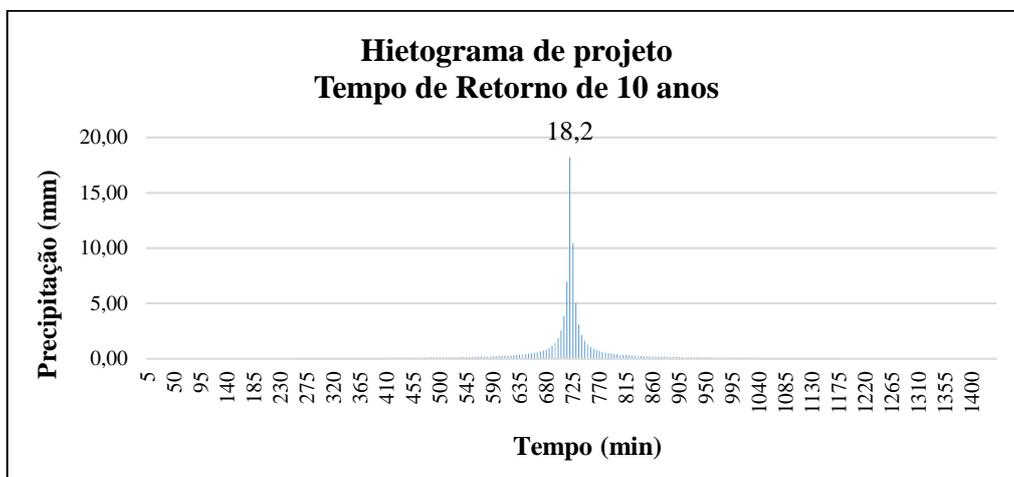


Figura 4.18 Hietograma da chuva de projeto para o TR = 10 anos

4.4.2. Caracterização de cada sub-bacia de contribuição

A área de estudo possui a urbanização bem consolidada, caracterizando-se pela intensa ocupação. A partir da confecção do Mapa de Uso e Ocupação da Candangolândia apresentado anteriormente, foi possível definir a área que efetivamente contribui para o sistema de drenagem da região e que, conseqüentemente, foi a área analisada nas simulações. A Figura 4.19 apresenta a área de contribuição da rede de drenagem demarcada pela hachura.

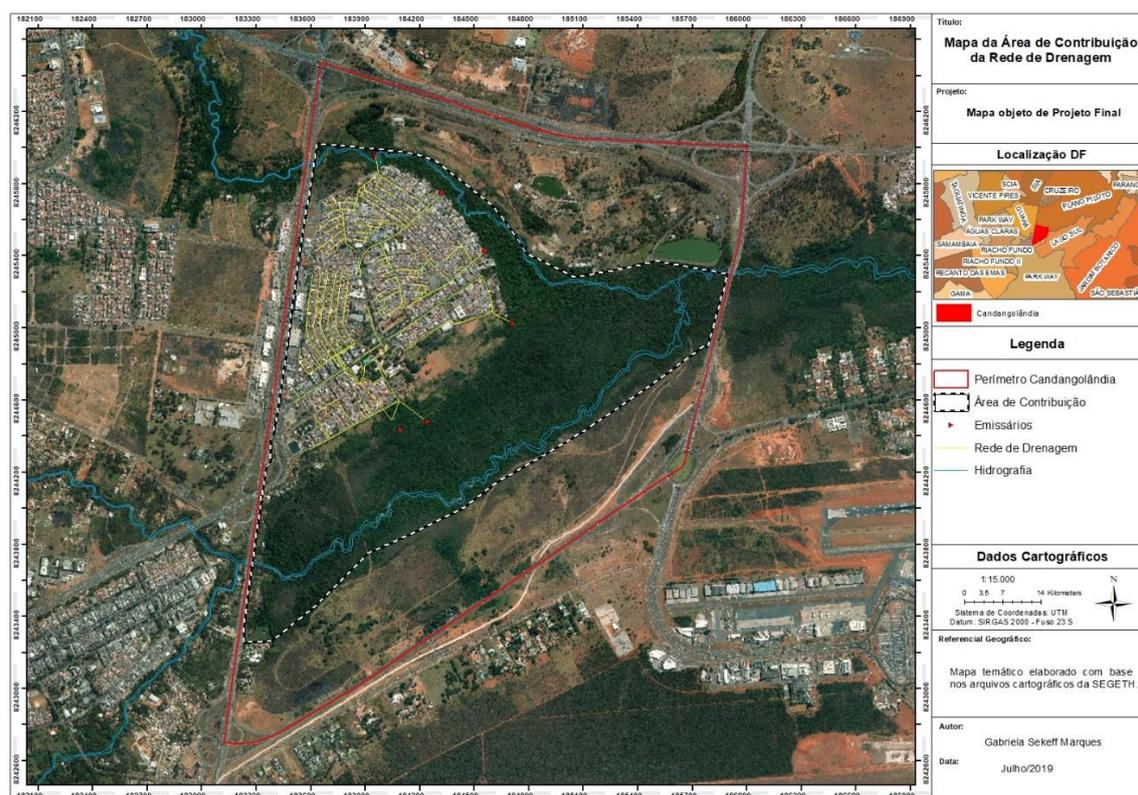


Figura 4.19 Mapa da Área de Contribuição da Rede de Drenagem RA XIX – Candangolândia.

A área de cada sub-bacia foi calculada pelo ArcGis. Além disso, foi criada uma camada da direção de fluxo com os traçados dos caminhos percorridos pelo escoamento em cada sub-bacia por meio da ferramenta *FlowDirection* no ArcGis. A partir da direção de fluxo, calculou-se o parâmetro de comprimento de fluxo cujas dimensões foram calculadas por SIG. O parâmetro de largura das sub-bacias foi definido no PCSWMM com o auxílio dos valores de área e comprimento de fluxo atribuídos a cada sub-bacia. Já a declividade média de cada sub-bacias utilizada na modelagem foi determinada por meio do Modelo Digital de Elevação construído no ArcGIS. Tais informações foram importadas para o PCSWMM e

atribuídas a cada sub-bacia por meio do comando *SET DEM SLOPE*. A Figura 4.20 mostra a representação das sub-bacias de drenagem no PCSWMM.



Figura 4.20 Exemplo de sub-bacias e direções de fluxo para outras sub-bacia ou PV.

4.4.3. Definição do CN

O parâmetro CN depende do uso e ocupação do solo e é um dos atributos necessários na camada de sub-bacias quando se utiliza o método SCS para calcular infiltração. A partir da análise de uso e ocupação do solo, atribuindo os valores de CN de acordo com cada utilização do solo e assim, associando a cada sub-bacia o seu grau de impermeabilização. A Tabela 4.1 e a Figura 4.21 a seguir apresentam os valores de CN adotados.

Tabela 4.1 CN adotado para cada uso de solo existente nas sub-bacias, de acordo com Tucci (2002).

Uso do Solo	CN
Vegetação em boas condições	39
Campo aberto (grama ou mato)	45
Solo exposto	68
Lotes construídos	89
Ruas e pavimentos	98

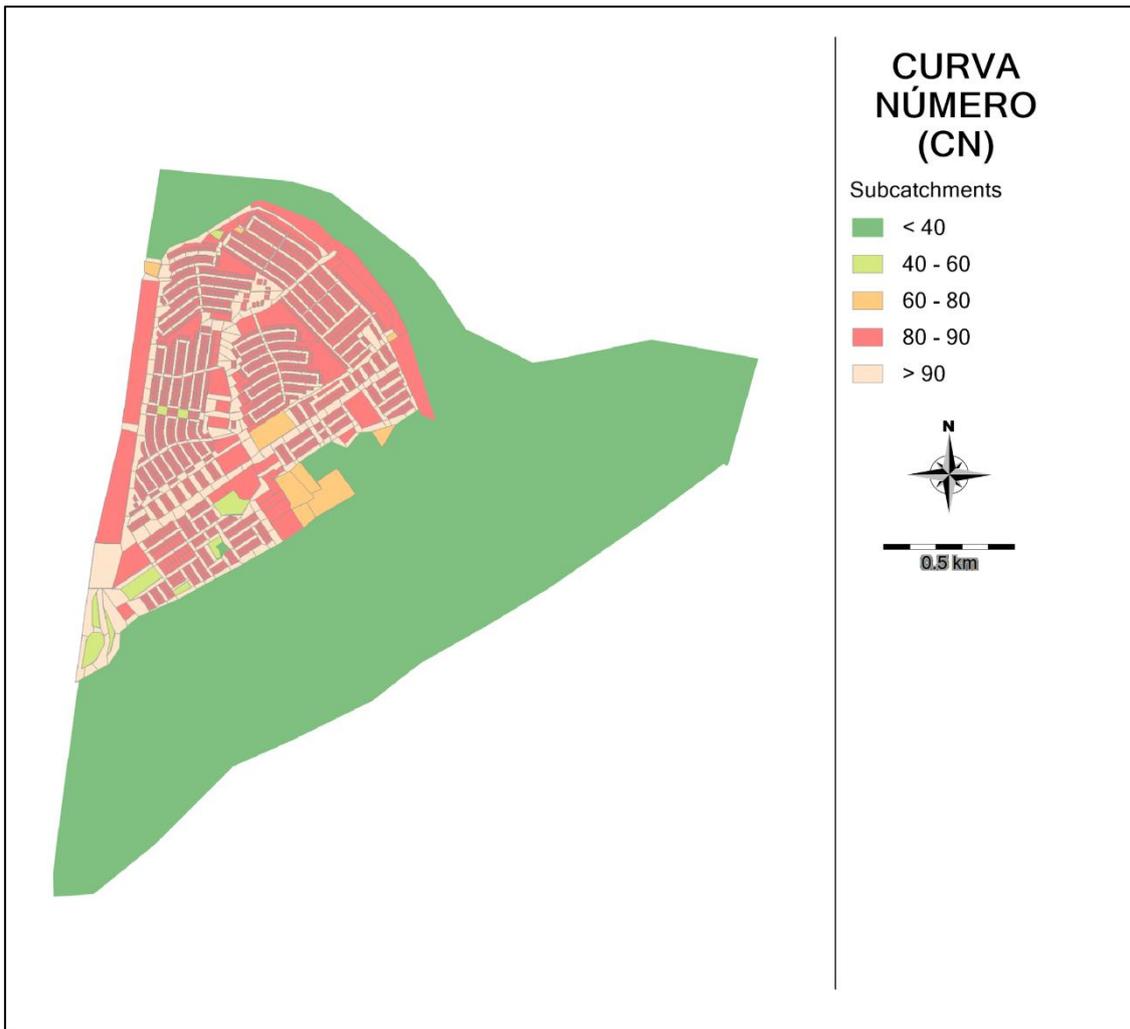


Figura 4.21 Variação dos valores de CN para cada uma das sub-bacias.

Na Tabela 4.2 apresenta a porcentagem de cada CN em relação a sua área ocupada. Os valores de CN acima de 80 totalizam 33,65% da área de contribuição e incluem área de pavimentação asfáltica, áreas residenciais, comerciais e áreas consideradas muito impermeabilizadas. As áreas com CN entre 60 e 80 representam 0,85% da área de contribuição da rede de drenagem e estão associadas, em sua maioria, a solo exposto. Já as áreas com maior capacidade de infiltração, como vegetação alta e gramado, são os que apresentam mais de 65% da área. Essas áreas, porém, pouco contribuem efetivamente para a infiltração do sistema, pois, como mostra a Figura 4.21, a sua maior parte está alocada ao redor da região urbanizada e, dessa forma, fora da área de contribuição da rede de drenagem.

Tabela 4.2 CN adotado para cada uso de solo existente nas sub-bacias, de acordo com Tucci (2002).

CN	% área da bacia
<40	64,83%
40 – 60	0,67%
60 – 80	0,85%
80 - 90	20,37%
>90	13,28%

É importante ressaltar que os valores de CN mostrados acima foram empregados no Cenário Base e no Cenário Alternativo, que possuem uso e ocupação diversificado. O valor de CN empregado para o Cenário Pré-Desenvolvimento foi de 39, que corresponde ao coeficiente para vegetações em boas condições para o grupo hidrológico A de solos (Tucci, 2002).

4.4.4. Rede de drenagem.

O sistema de drenagem da Candangolândia é composto por dispositivos clássicos como poços de visitas, rede de condutos e bocas de lobo. Os dados dos equipamentos de drenagem urbana utilizados na área de estudo foram fornecidos pela Adasa e Novacap. O projeto da rede de drenagem especifica seu traçado, características dos seus componentes e os *outlets* de cada sub-bacia. As características gerais da rede de drenagem são apresentadas na Tabela 4.3. A Figura 4.22 mostra representação do sistema de drenagem inserido no PCSWMM.

Tabela 4.3 Características gerais da rede de drenagem da RAXIX - Candangolândia.

Características Gerais da Rede de Drenagem	
Área (km ²)	3,65
Sub-bacias	3598
Poços de Visita (PVs)	341
Condutos	342
Emissários	5
Menor diâmetro (mm)	400
Maior diâmetro (mm)	1000
Declividade do terreno (%)	4,02
Extensão da rede (km)	15,69

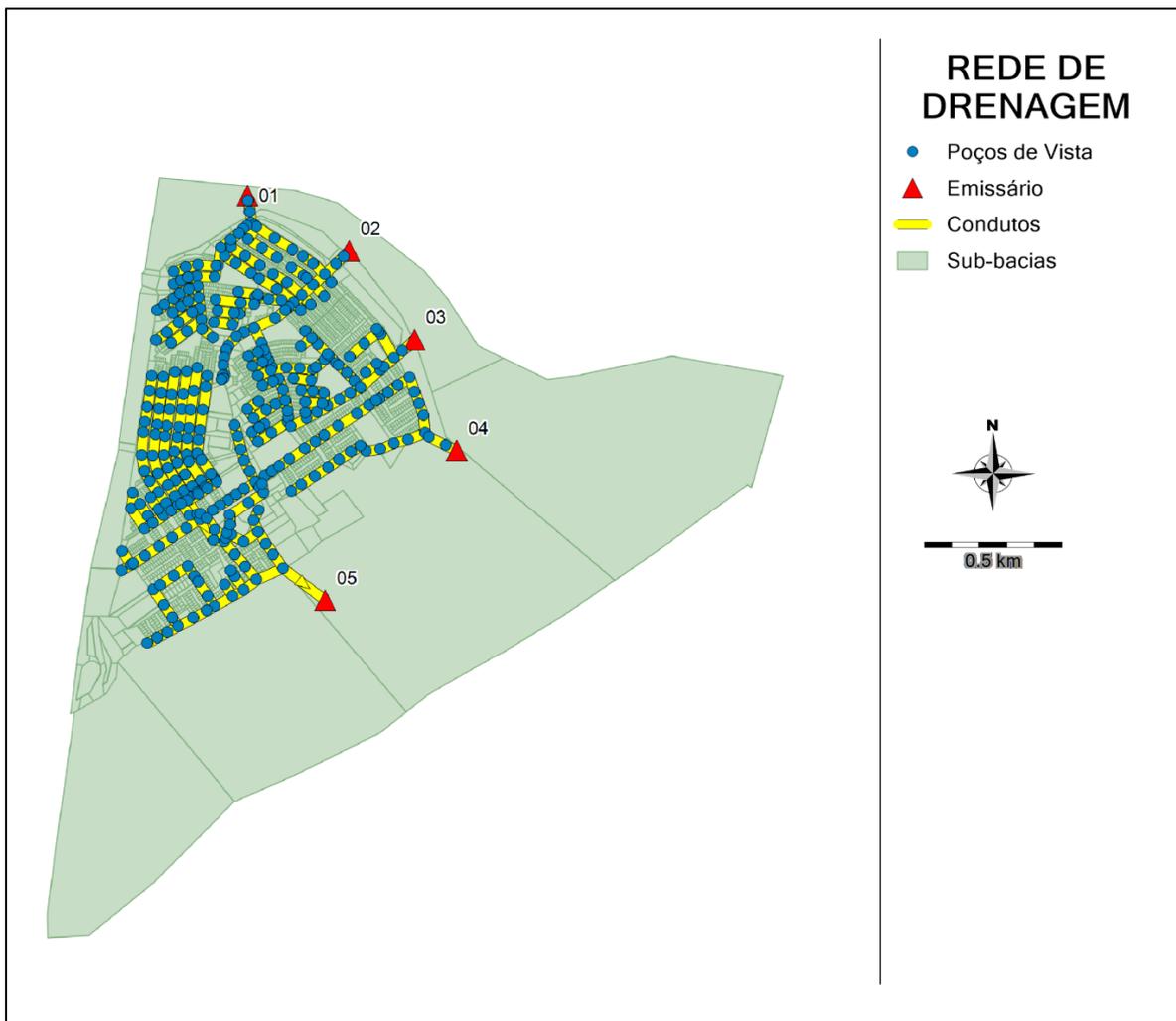


Figura 4.22 Rede de drenagem na RA XIX – Candangolândia modelada no PCSWMM.

As informações de cota terreno dos PVs e de diâmetro dos condutos foram fornecidas pelos dados do projeto da rede. Foi adotada a profundidade de cada PV igual a 2 metros. A rugosidade de Manning adotada para cada conduto foi de 0,018, rugosidade para condutos concreto de acordo com o Manual do SWMM. Já a declividade de cada conduto foi calculada pelo próprio programa. Por fim, os dados de cota dos exutórios foram obtidos por meio do Modelo Digital de Elevação.

Como a região de estudo possui cinco emissários, a área foi dividida de em cinco áreas menores que correspondem às áreas de contribuições de lançamento de cada um dos emissários. A Figura 4.23 mostra a representação de cada uma das áreas e a Tabela 4.4 detalha as características de cada umas das áreas.

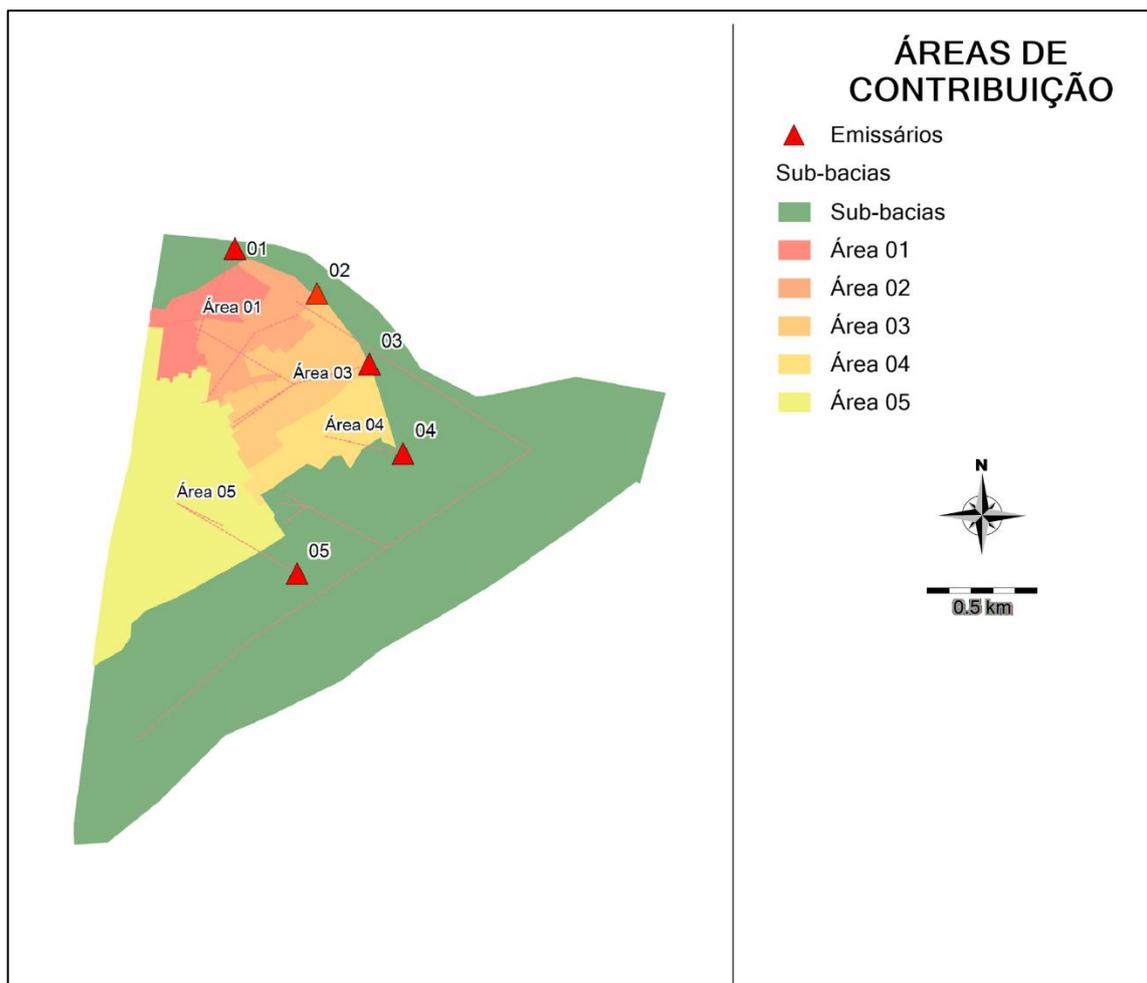


Figura 4.23 Representação das cinco áreas de contribuição modeladas no PCSWMM.

Tabela 4.4 Características gerais das áreas de contribuição.

	Área (ha)	Declividade Média	Exutório
Área 1	11,87	7,9%	Emissário 01
Área 2	15,86	4,0%	Emissário 02
Área 3	22,14	6,3%	Emissário 03
Área 4	15,03	4,9%	Emissário 04
Área 5	57,70	3,8%	Emissário 05

4.4.5. Uso de LIDS

A implementação das soluções de baixo impacto foi empregada utilizando a totalidade da área das sub-bacias às quais essas estruturas foram atribuídas. As soluções de LID foram

inseridas por meio dos dispositivos pré-definidos pelo programa que mais se adequava à solução proposta. No caso, utilizou-se a trincheira de infiltração, representada na Figura 4.24.

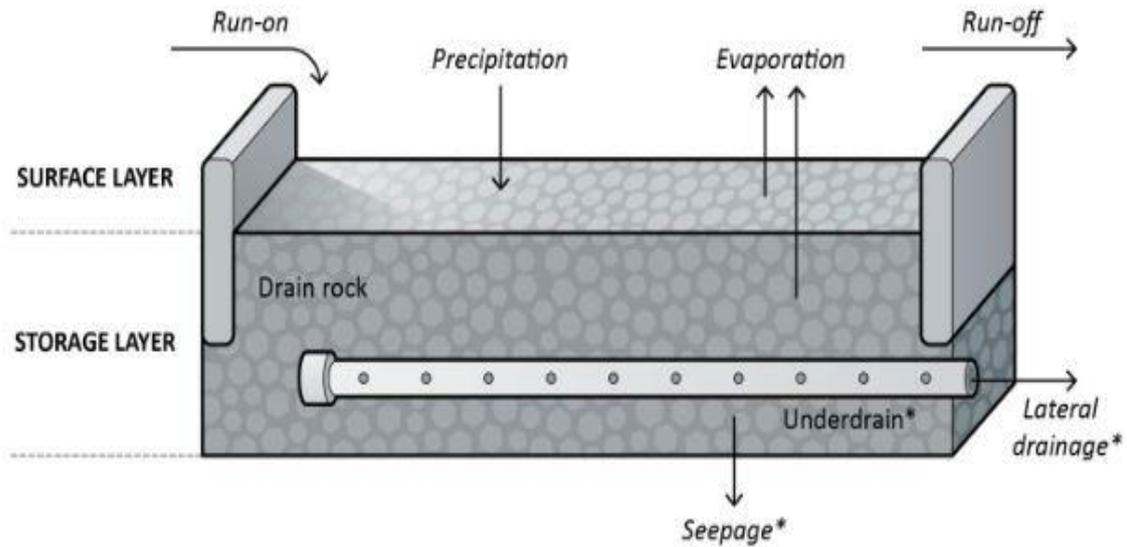


Figura 4.24 Esquema ilustrativo das camadas das trincheiras de infiltração (Chi Water, 2018).

Para o desenho das trincheiras, foram inseridas sub-bacias que, acompanhavam as curvas de nível do terreno. Na simulação, foram adotadas trincheiras de infiltração com largura fixa de 0,80 m e profundidade de 1,0 m. O coeficiente de Manning adotado para a cobertura de superfície seguiu o valor indicado Manual do PCSWMM para superfície gramada. Para condutividade hidráulica, tomou-se o valor médio verificado por Lima *et al.* (2013) para condutividade de Latossolos Vermelhos na profundidade de 1 metro. Optou-se por não utilizar a camada de drenagem. A Tabela 4.5 apresenta os parâmetros utilizados nas trincheiras de infiltração.

Tabela 4.5 Parâmetros e dimensões utilizados para modelagem das trincheiras de infiltração

Trincheiras de Infiltração	
Altura (m)	1,00
Largura (m)	0,8
Comprimento (m²)	80,00
Coefficiente de Manning	0,41
Condutividade Hidráulica (mm/h)	461,07

4.5. MÉTODO RACIONAL

A realização do projeto não contou com a realização de calibragem do modelo antes da simulação. Dessa forma, optou-se pela realização da comparação dos valores obtidos na simulação do cenário base por meio do Método Racional com o objetivo de verificar a coerência dos valores de vazão máxima. O Termo de Referência de 2012 da Novacap utilizado para disciplinar a execução dos projetos executivos de sistemas de drenagem pluviais, como também reavaliar estruturas já existentes, e de maneira geral, indica o Método Racional para determinação da vazão de projetos da rede. O uso desse método é recomendável para áreas de até 100 ha. (Adasa, 2018).

A determinação das vazões pelo Método Racional é definida pela Equação 4.3 a seguir:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde,

Q = Vazão de pico (m³/s);

C = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = Intensidade média de chuva (mm/h);

A = Área da bacia (ha).

A Tabela 4.6 abaixo apresenta a relação dos valores do Coeficiente de Escoamento Superficial aplicáveis por tipo de uso de acordo com a NOVACAP.

Tabela 4.6 Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial segundo o TR da Novacap.

Uso do Solo	C
Áreas calçadas ou impermeabilizadas	0,90
Áreas intensamente urbanizadas e sem áreas verdes	0,70
Áreas residenciais com áreas ajardinadas	0,40
Áreas integralmente gramadas	0,15

A intensidade média da chuva foi calculada pela Curva I-D-F do PDDU/DF (Equação 4.1), considerando a duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração equivale ao tempo necessário para que o escoamento superficial da totalidade da área da bacia contribua para a sua seção de saída. Este tempo foi calculado pela Fórmula de Kirpich apresentada na Equação 4.4

$$tc = 57. \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde,

tc = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do canal principal (km);

H = Diferença de nível do ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado (m).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CENÁRIO PRÉ-DESENVOLVIMENTO

No cenário de pré-desenvolvimento só estão presentes as sub-bacias de drenagem e seus exutórios conforme mostra a Figura 5.1. Apesar do cenário de pré-desenvolvimento não possuir rede de drenagem instalada, a simulação com chuva de projeto foi rodada para 2, 5 e 10 anos de Tempo de Retorno.

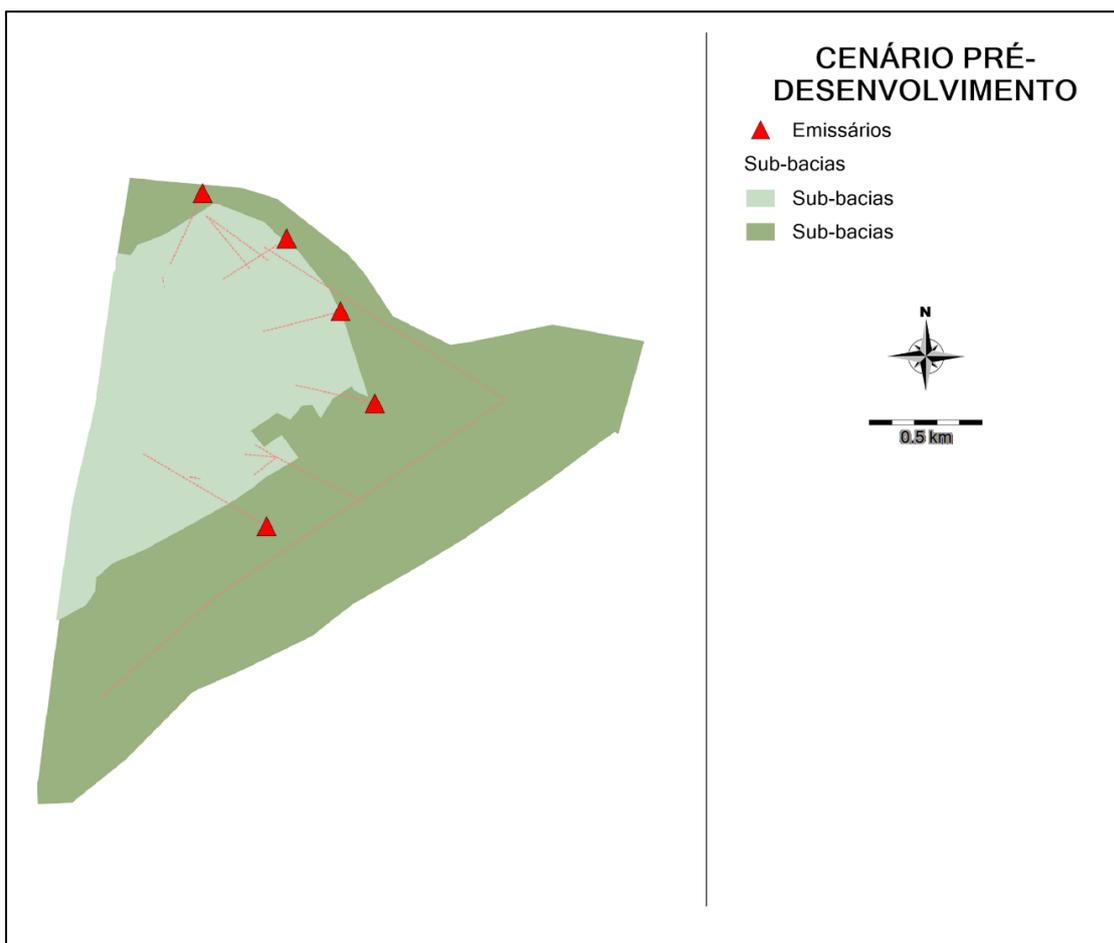


Figura 5.1 Representação do Cenário de Pré-Desenvolvimento no PCSWMM.

As simulações com as chuvas de projeto com os diferentes tempos de retorno não geraram escoamento superficial para o cenário de pré-desenvolvimento. O baixo valor de CN atribuído à cobertura natural do solo, que denota uma baixa impermeabilização da superfície, pode ser umas das causas associadas a esse resultado, que pressupõe também uma grande lâmina de armazenamento em depressões do terreno. Dessa forma, ao final do evento chuvoso, a precipitação sobre a área se dividiu em infiltração natural e armazenamento na

superfície. Depois das 24 horas adotadas como duração do evento de projeto, mais de 73% da lâmina de precipitação total na área havia infiltrado.

Trabalhos como o de Carvalho (2018) tiveram resultados semelhantes para simulações realizadas em áreas com características naturais do terreno e constatou-se também uma grande capacidade de infiltração do local no período pré-urbanização.

Comparando a vazão de pré-desenvolvimento com os critérios da Resolução Adasa 9/2011, que estabelece a vazão máxima de 24,4L/s.ha, o resultado de vazões nulas nos exutórios é bem discrepante. As simulações nesse cenário serviram para fornecer uma ideia do comportamento dos processos hidrológicos na área para quando a interferência humana era mínima.

5.2.CENÁRIO BASE

O Cenário Base consistiu na análise da rede de drenagem em sua forma original, sem nenhuma intervenção, para os Tempos de Retorno de 2, 5 e 10 anos. A Tabela 5.1 apresenta os principais resultados desta modelagem. As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam os hidrogramas gerados para os cenários base.

Tabela 5.1 Resultados obtidos na simulação do Cenário Base

	Tr de 2 anos		Tr de 5 anos		Tr de 10 anos	
	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)
Emissário 1	3662	1,14	4687	1,14	5269	1,14
Emissário 2	5505	2,25	8143	3,08	10700	5,10
Emissário 3	4994	1,59	7524	2,88	9746	4,41
Emissário 4	4933	1,85	7140	2,66	9385	3,90
Emissário 5	16950	3,65	21050	4,12	24640	5,58

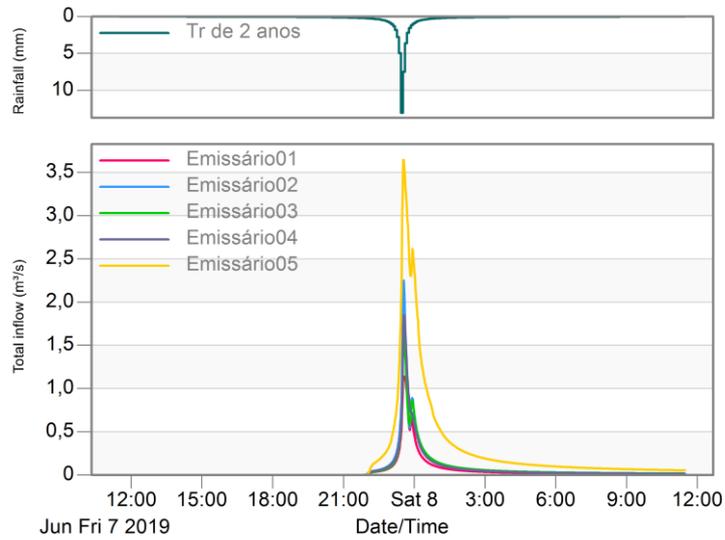


Figura 5.2 Hietograma para o Tr = 2 anos no Cenário Base.

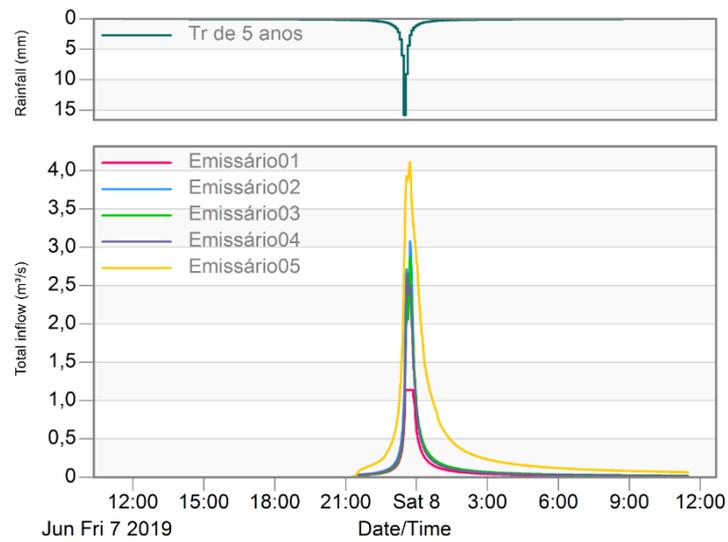


Figura 5.3 Hietograma para o Tr = 5 anos no Cenário Base.

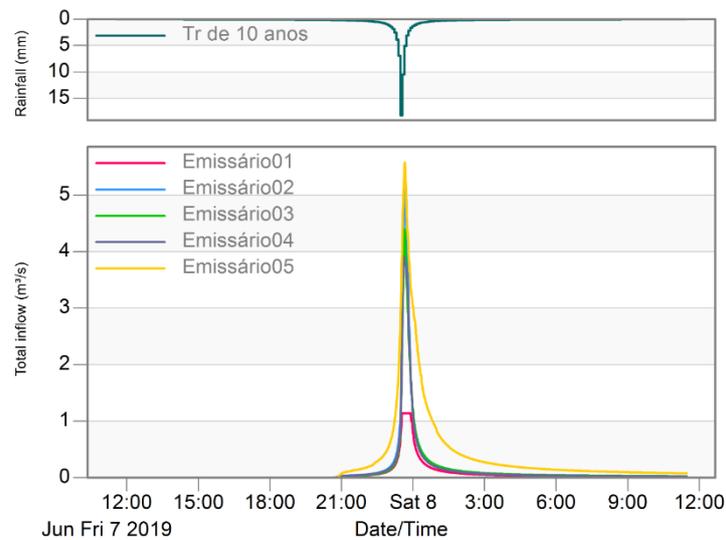


Figura 5.4 Hietograma para o Tr = 10 anos no Cenário Base.

Na Tabela 5.1, verifica-se que as vazões de pico encontradas para o Emissário 01 são de 1,14 m³/s para todos os tempos de retorno aplicados. A esse fato pode-se inferir que a partir do momento que o Emissário 01 chega a sua vazão máxima, ele se mantém com vazão constante por um período de tempo, trabalhando, assim, como conduto forçado. Comparando Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 verifica-se que o Emissário 01, conforme esperado, permanece na sua vazão de pico por mais tempo para a precipitação com Tr = 10 anos.

A partir da simulação do evento chuvoso com 10 anos de recorrência, definida como base para projetos de drenagem da Novacap, foi possível realizar uma série de diagnósticos de alguns pontos fundamentais para o bom funcionamento da rede conforme é discorrido a seguir.

A Resolução nº 9 da Adasa, que dispõe sobre os procedimentos gerais de obtenção de outorga e lançamento de águas pluviais em corpos hídricos do Distrito Federal, especifica que o lançamento direto da água drenada só é permitido para valores abaixo de 24,4 L/(s.ha). A Tabela 5.2 abaixo mostra a área de contribuição de cada emissário e a respectiva vazão. Observa-se que as vazões de pico são todas muito superiores as vazões estabelecidas. Esse fato pode ser associado à impermeabilização do solo, que reduz o volume infiltrado, provocando o aumento das vazões.

Tabela 5.2 Resultado das vazões de lançamento no Cenário Base.

	Área (ha)	Q (L/s)	Q (L/s.ha)
Emissário 1	11,88	1,14	96,05
Emissário 2	15,86	5,1	321,52
Emissário 3	22,13	4,4	198,84
Emissário 4	15,03	3,9	259,56
Emissário 5	57,70	5,58	96,70

Por meio da simulação no Cenário Base, também foi possível identificar os pontos críticos da rede atual, ou seja, os pontos passíveis de extravasamento e sobrecarga. De acordo com as especificações do Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial no Distrito Federal da NOVACAP, redes tubulares devem ter sua ocupação máxima correspondente a 82% do diâmetro.

Trabalhos como o de Fileni (2017) e Borges (2018) apresentaram resultados semelhantes. Os resultados obtidos por meio de simulações realizadas no programa PCSWMM, mostraram que as redes de drenagem analisadas eram insuficientes para o escoamento da

precipitação do PDDU-DF com tempo de retorno de 10 anos. Os referidos trabalhos analisaram sub-bacias da Ceilândia e Guará II, evidenciando a inadequação dos sistemas de drenagem de diferentes regiões do DF.

A Tabela 5.2 quantifica os poços de visita que apresentam sobrecarga e extravasamento. As Figura 5.5 e 5.6 mostram, respectivamente, o perfil de extravasamento e os pontos críticos na rede de drenagem.

Tabela 5.3 Número de poços de visita com sobrecarga e extravasamento.

	PVs com sobrecarga	PVs com extravasamento
Tr de 2 anos	77	60
Tr de 5 anos	151	113
Tr de 10 anos	231	194

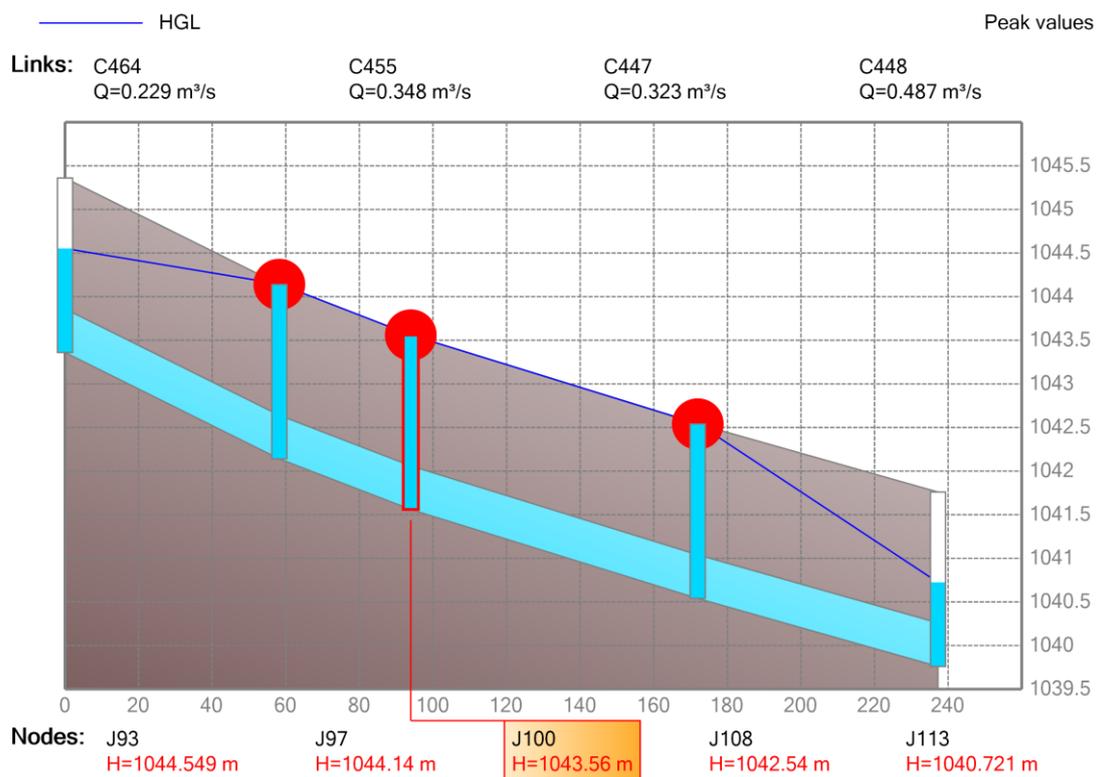


Figura 5.5 Representação do perfil de extravasamento de poço de visita no PCSWMM

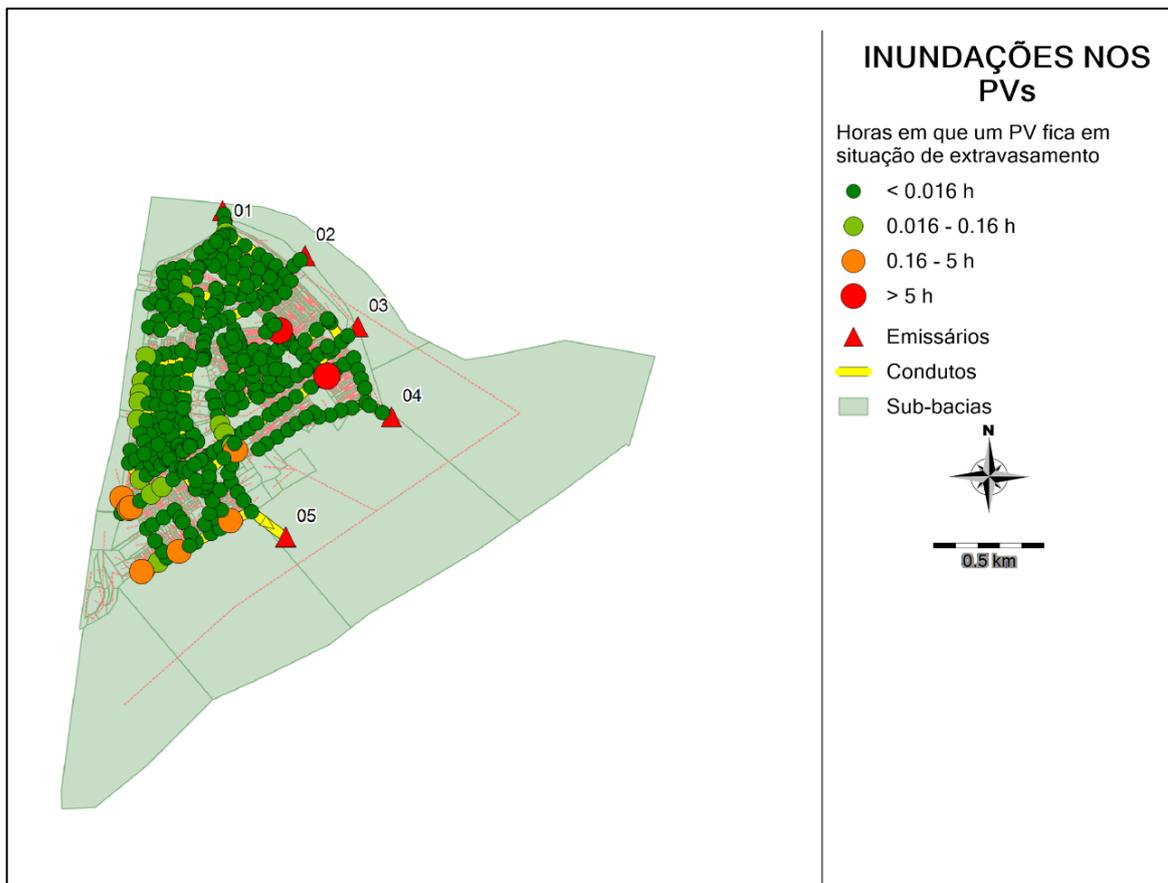


Figura 5.6 Mapa da representação dos PVs em situação de extravasamento no PCSWMM.

No cenário da rede projetada, a simulação com as chuvas de projeto resultou na infiltração de aproximadamente 64% da lâmina precipitada após as 24 horas de duração do evento para Tr de 2 anos; 61% para Tr de 5 anos e 53% para Tr de 10 anos. Observa-se a redução na infiltração em relação ao cenário de pré-desenvolvimento para todos os tempos de retorno empregados.

Por fim, foi realizada a comparação dos valores de vazões obtidos na simulação do cenário por meio do Método Racional. Foi utilizado tempo de retorno de 10 anos para o cálculo das vazões de pico. As vazões calculadas pelo Método Racional dizem respeito às vazões de cada uma das áreas de contribuição dos emissários da região. Os resultados são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Resultados das vazões calculas pelo Método Racional.

	Área (ha)	C	L (km)	h (m)	tc (min)	Tr (anos)	I (mm/h)	Q (m³/s)	Erro Percentual
Área 1	11,86	0,815	6,01	29,03	123,76	10	33,24	0,89	21,60
Área 2	15,86	0,815	2,89	30,11	52,36	10	64,78	2,33	54,35
Área 3	22,12	0,815	2,48	29,89	44,01	10	73,39	3,68	16,37
Área 4	15,02	0,815	2,37	30,69	41,32	10	76,72	2,61	33,04
Área 5	57,70	0,815	6,29	31,93	125,82	10	32,80	4,29	23,15

Conforme revela a coluna de Erros Percentuais na tabela acima, observa-se que os valores de vazão de pico obtidos na simulação diferem dos valores calculados pelo referido método. O método Racional foi o que apresentou os menores valores de vazão para as 5 áreas em estudo. O método racional tende a subestimar as vazões, devido as suas limitações, como a distribuição temporal das vazões. As simulações realizadas no PCSWMM utilizam o método hidrodinâmico possibilitando maior acurácia dos resultados.

5.3.CENÁRIO ALTERNATIVO

O Cenário Alternativo consistiu na alocação de trincheiras de infiltração posicionadas de forma que fiquem distribuídas anteriormente ao lançamento final nos corpos d'água da região conforme mostra a Figura 5.7. Neste cenário, o objetivo foi reduzir as vazões nos emissários de forma a atender as recomendações da Resolução nº 09/2011 da Adasa.

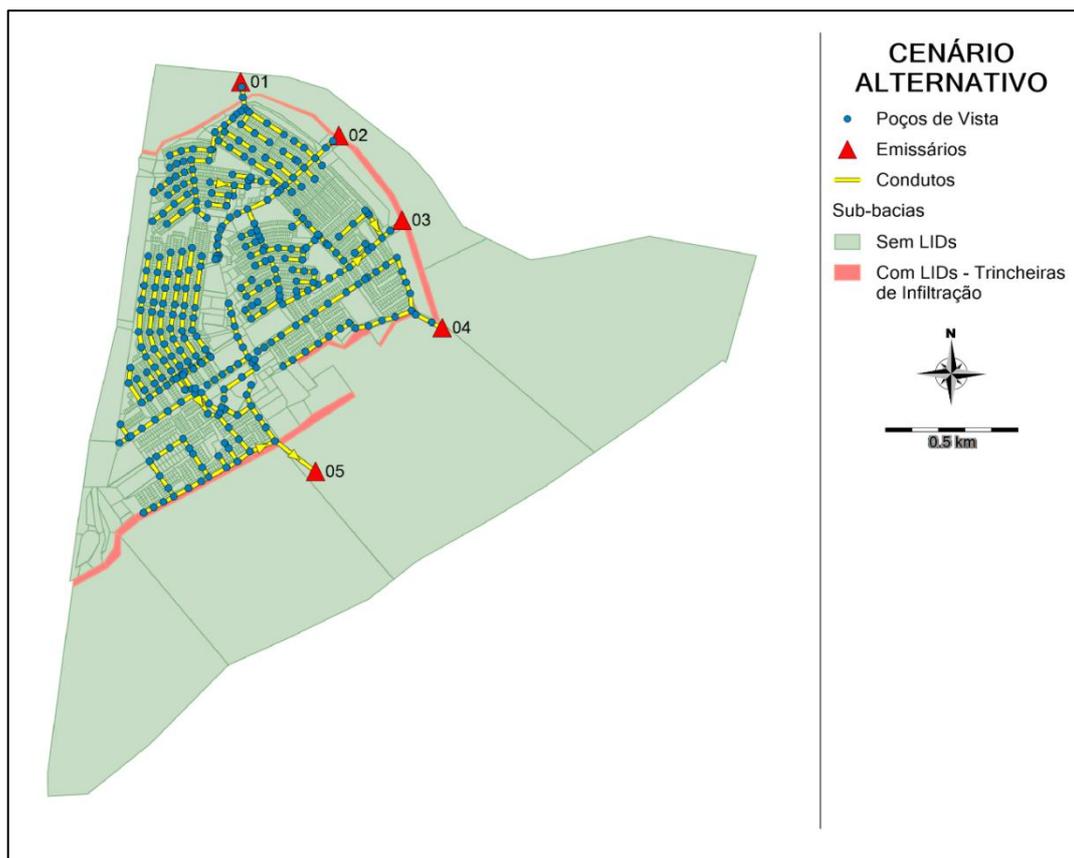


Figura 5.7 Representação do Cenário Alternativo no PCSWW.

A alocação de trincheiras na região foi capaz de melhorar tanto a vazão de saída, como os volumes de escoamento. Conforme mostra a Tabela 5.5, a diminuição de ambos os parâmetros pode ser verificada em todos os tempos de retorno empregados na simulação.

Tabela 5.5 Resultados do Cenário Alternativo

	Tr de 2 anos		Tr de 5 anos		Tr de 10 anos	
	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)	Vol. de escoamento (m ³)	Vazão de saída (m ³ /s)
Emissário 1	3293	1,09	4386	1,14	4944	1,14
Emissário 2	5176	2,25	7527	2,95	9710	4,79
Emissário 3	4679	1,59	6936	2,68	8796	3,89
Emissário 4	4039	1,59	5740	2,04	7526	3,29
Emissário 5	14230	3,53	17920	3,79	20930	5,07

Apesar desses resultados, observa-se que para a chuva de tempo de retorno igual a 10 anos nenhum dos cenários foi suficiente para atingir a vazão específica de 24,4 L/s/ha estabelecida pela Resolução nº 9/2011 da Adasa (2011). No emissário 5, a vazão de saída chega a 87,86 L/s/ha, ainda muito além do exigido pela legislação, como mostra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Resultado das vazões de lançamento no Cenário Alternativo.

	Área (ha)	Q (L/s)	Q (L/s.ha)
Emissário 1	11,8676	1,14	96,06
Emissário 2	15,8620	4,79	301,98
Emissário 3	22,1279	3,89	175,79
Emissário 4	15,0253	3,29	218,97
Emissário 5	57,7037	5,07	87,86

O Cenário Alternativo utilizado na simulação do PCSWMM foi capaz de demonstrar o efeito da inserção de trincheiras de infiltração em uma rede de drenagem. Houve uma melhora no sistema como um todo, tanto em termos de vazão como em termos de desempenho da rede de drenagem. A Tabela 5.7 e as Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 abaixo mostram os resultados comparativos entre os sistemas de drenagem do Cenário Base e do Cenário Alternativo.

Tabela 5.7 Comparação dos resultados encontrados entre o Cenário Base e o Cenário Alternativo.

		Vol. de escoamento (m³)	Vazão de saída (m³/s)	PVs com sobrecarga	PVs com extravasamento
Tr = 2 anos	Cenário Base	74000	22,01	77	60
	Cenário Alternativo	64750	21,08	74	55
	Redução Percentual	12,50%	4,23%	3,90%	8,33%
Tr = 5 anos	Cenário Base	109200	40,81	151	113
	Cenário Alternativo	98370	37,73	146	108
	Redução Percentual	9,92%	7,55%	3,31%	4,42%
Tr = 10 anos	Cenário Base	150800	79,51	231	194
	Cenário Alternativo	138900	75,78	229	191
	Redução Percentual	7,89%	4,69%	0,87%	1,55%

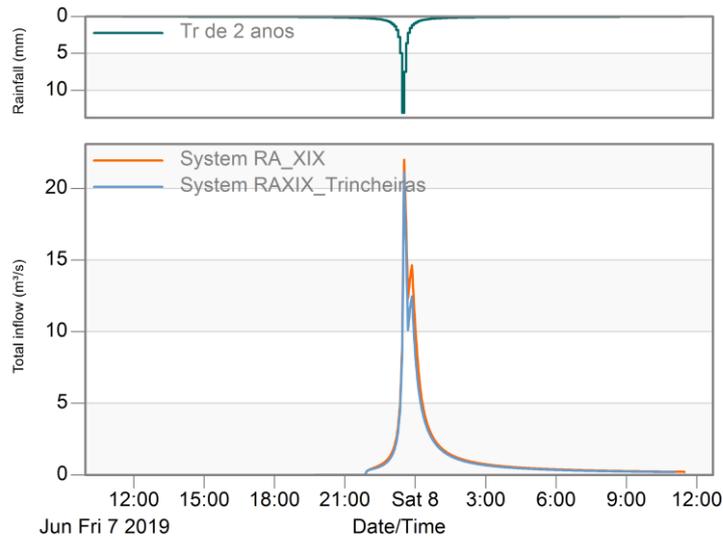


Figura 5.8 Hidograma para o Tr = 2 anos no Cenário Alternativo.

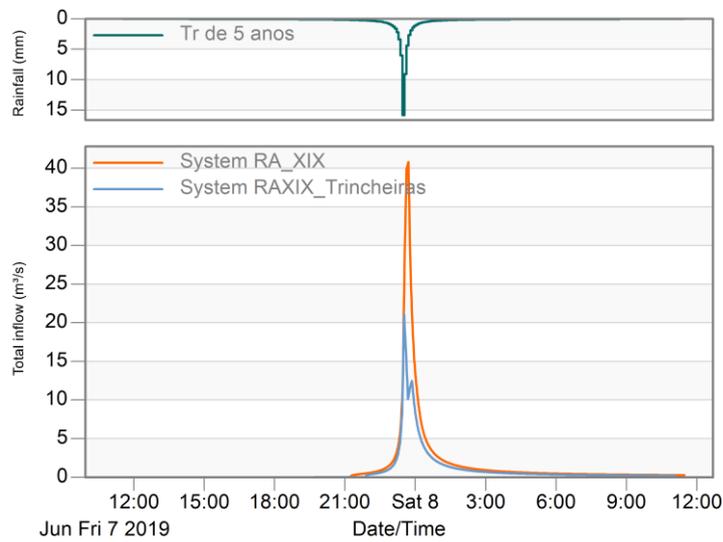


Figura 5.9 Hidograma para o Tr = 5 anos no Cenário Alternativo.

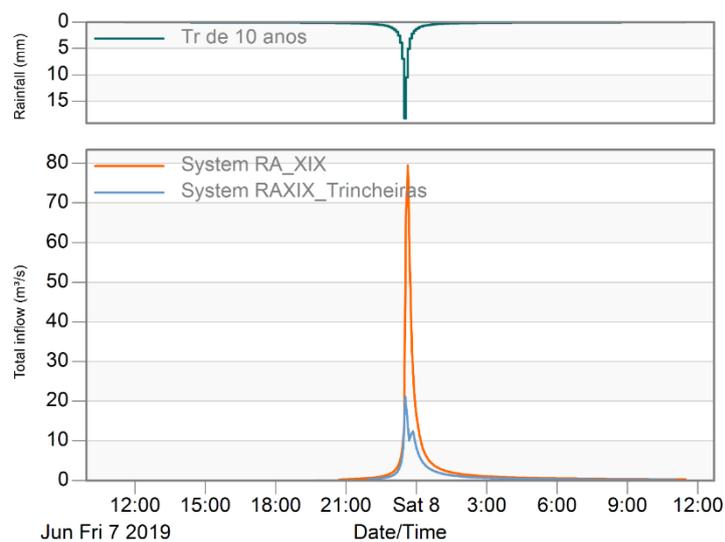


Figura 5.10 Hidograma para o Tr = 10 anos no Cenário Alternativo.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que a redução dos volumes escoados e da vazão de pico obteve melhores resultados para o TR de 2 e 5 anos. Trabalhos como o de Camuzi (2017) e Fileni (2017) também mostram resultados mais satisfatórios para os mesmos tempos de retorno. Em relação ao Cenário Base, a alocação de trincheira também proporcionou uma melhoria mínima na sobrecarga e no extravasamento do cenário. O resultado observado para o desempenho dos PVs se deve ao fato das trincheiras terem sido posicionadas ao final da rede de drenagem, dessa forma, houve pouca contribuição para o comportamento a montante do lançamento.

No cenário com trincheiras, a simulação com as chuvas de projeto resultou ainda no aumento da infiltração em comparação com o Cenário Base. Foi observado a infiltração de aproximadamente 65% da lâmina precipitada após as 24 horas de duração do evento para Tr de 2 anos; 62% para Tr de 5 anos e 60% para Tr de 10 anos. O volume útil de armazenando de todas as LIDs encontrada foi de de 3601, 31 m³.

A análise dos resultados mostra que a inserção de trincheiras foi capaz proporcionar melhorias no desempenho da rede de drenagem. Trabalhos como o de Borges (2018) e Araújo (2018) mostram um comportamento semelhante a partir da inserção de trincheiras de infiltração em redes de drenagem com o objetivo de reduzir a vazão de pico e o volume de escoamento superficial. Ambos os trabalhos foram realizados no Distrito Federal e indicam a alocação de trincheiras apresenta melhores resultados quando inseridas em conjunto com outras soluções de baixo impacto, como por exemplo, pavimentos permeáveis e valas de infiltração. A Figura 5.11 a seguir apresenta em amarelo uma alternativa para o posicionamento dos dispositivos de baixo impacto complementares às trincheiras. A configuração apresentada tem o objetivo de amortecer as vazões de lançamento de forma que as estruturas fiquem posicionadas em locais estratégicos para que a minimização dos escoamentos gerados à montante dos lançamentos finais ocorra de forma significativa.

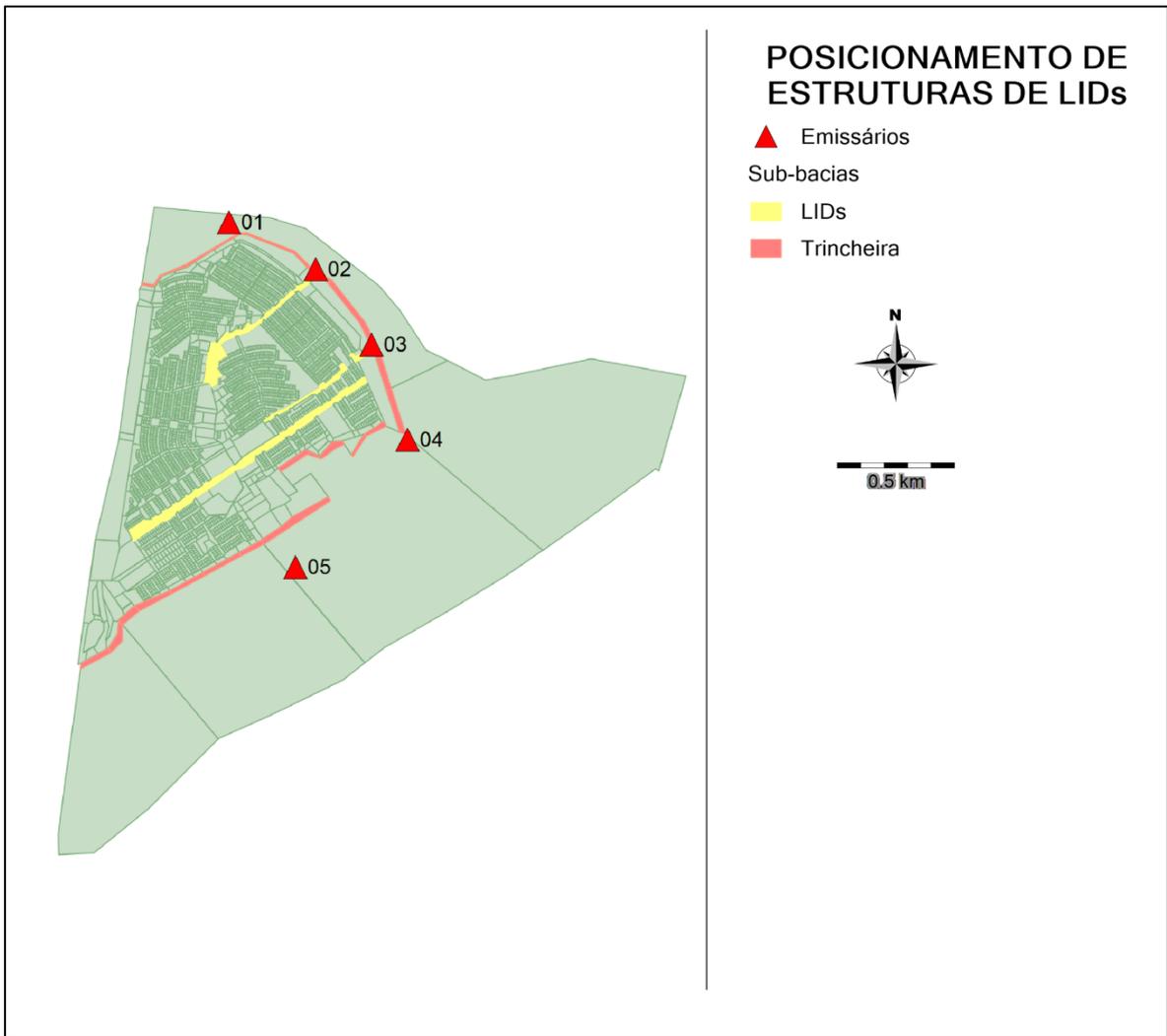


Figura 5.11 Posicionamento de dispositivos de baixo impactos complementares às trincheiras de infiltração.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A drenagem urbana é entendida como o gerenciamento das águas pluviais que escoam no meio urbano e é uma das quatro vertentes do saneamento ambiental. O gerenciamento e o manejo dos recursos hídricos são atividades essenciais para o convívio da cidade com suas águas. Nesse contexto, o presente projeto propôs a análise do sistema de drenagem de água pluviais instalado na Região Administrativa XIX - Candangolândia.

A elaboração da Fundamentação Teórica foi essencial para evidenciar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico e as ações e propriedades que mais interferem na drenagem de uma área urbanizada. Entre essas evidências, é possível citar, principalmente, o planejamento do uso e ocupação do solo, juntamente com outros fatores como características do solo, hidrológicas e topográficas da região.

A análise e as simulações foram realizadas por meio do programa PCSWMM. Apesar de não ter sido possível fazer a calibração do modelo, a utilização de modelagem hidrológica-hidráulica pelo modelo SWMM se comprovou como uma boa ferramenta para avaliação dos sistemas de drenagem em pequenas bacias urbanas, podendo-se ajustar o modelo por meio da comparação com os resultados do cálculo da vazão de pico pelo Método Racional. Além disso, possui a grande vantagem de fornecer a possibilidade de modelagem de dispositivos LID.

A modelagem no programa PCSWMM foi realizada em termos de quantidade de escoamento superficial, propondo-se alternativas de técnicas compensatórias para melhorar o desempenho do sistema de manejo de água pluviais, tendo em vista a Resolução nº 09/2011 da ADASA, que determina que a vazão máxima de lançamento de águas pluviais em um corpo receptor é de 24,4L/s.ha. Buscou-se, também, analisar o desempenho da rede em relação a eventos de extravasamento e sobrecarga de poços de visita. Para as simulações de escoamento superficial foram propostos 3 cenários de avaliação, – Cenário Pré-Desenvolvimento, Cenário Base e Cenário Alternativo -, cenários que se diferenciam quanto ao momento de ocupação e quanto à infraestrutura de drenagem presente.

No Cenário Pré-Desenvolvimento, as simulações foram realizadas para as condições naturais de drenagem do terreno, sem rede implementada. Já o Cenário Base consistiu na simulação da rede de drenagem convencional implementada atualmente. As comparações entre esses cenários mostraram que o uso e ocupação do solo apresenta uma forte influência sobre o deflúvio gerado na área de drenagem estudada. As simulações do Cenário Base

confirmaram que a rede convencional associada a intensa urbanização altera substancialmente o ciclo hidrológico quando comparada ao Cenário Pré-Desenvolvimento. Foi encontrada uma vazão de pico considerada muito elevada, que não atende à Resolução nº 9/2011 da Adasa. A rede apresentou, ainda, pontos de alagamento, indicando que a mesma não suporta o volume de água gerado para a chuva modelada.

Na modelagem do Cenário Alternativo foram utilizadas trincheiras de infiltração que reduziram as vazões de pico e os volumes de água escoada. Além disso, essas estruturas promoveram o aumento da infiltração, fenômeno importante para a recarga das águas subterrâneas e manutenção das vazões de estiagem dos corpos receptores. As estruturas de LIDs mostraram uma melhor eficiência na atenuação dos efeitos das chuvas para tempos de retorno pequeno, de 2 e 5 anos. A área de estudo apresenta uma área verde significativa ao final da sua rede de drenagem, o que facilitou a alocação das trincheiras.

Conclui-se que a implementação de soluções de baixo impacto foi capaz de promover melhorias na rede de drenagem da Candangolândia. No entanto, os problemas identificados não foram plenamente solucionados. As especificações da Resolução nº 09/2011 da ADASA não foram atendidas e, ainda, vários pontos de extravasamento e sobrecarga permaneceram ao longo do sistema. Os resultados reforçam a necessidade de se atentar à infiltração e ao volume de lançamento no manejo das águas pluviais urbanas, e não somente a vazão de pico no lançamento.

Recomenda-se, para um possível prosseguimento do trabalho, a utilização de formas combinadas de LIDs, usando as trincheiras de infiltração com, por exemplo, valas de infiltração e pavimentos permeáveis de forma que as estruturas fiquem também posicionadas a montante do lançamento final. Ou, ainda, a alocação de trincheiras ou valas de infiltração posicionadas da mesma forma, porém de maior volume e, portanto, com maior capacidade de amortecer os escoamentos gerados. Por meio dessa configuração, acredita-se que seja viável a redução do volume de água escoado e dos pontos de extravasamento e sobrecarga ao longo da rede. Assim, contribuindo para o atendimento das normas vigentes, e promovendo a ocupação do solo e forma menos impactante na região e a utilização dos espaços de área vegetada.

Por fim, foi possível verificar que tanto a drenagem e manejo de águas pluviais, quanto a implantação de uma solução de baixo impacto apresentam questões complexas e levam a vários problemas associados que devem ser cuidadosamente estudados. Os resultados do projeto mostram que a implementação de alternativas de técnicas compensatórias de

drenagem tem a capacidade de contribuir para a melhora de um sistema de drenagem convencional, sendo uma boa alternativa complementar aos sistemas de drenagem tradicionais, de modo a amenizar e solucionar alguns dos problemas oriundos dos impactos do processo de urbanização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas no Distrito Federal**. Brasília, DF: ADASA, 2018.

ADASA. **Resolução nº 9, de 8 de abril de 2011**. Estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais. Brasília: Adasa, 2011.

ANDRADE, L. M. S. **Conexão dos Padrões Espaciais dos Ecossistemas Urbanos: A construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ARAÚJO, A. S. **Análise e Proposição de Medidas Sustentáveis em Drenagem Urbana na Região do Lago Norte - DF por meio de Modelagem Hidrológica-Hidráulica**. UnB, 2018.

BAHIENSE, J. **Avaliação de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana Baseadas no Conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto, com o Apoio de Modelagem Matemática**. UFRJ, 2013.

BAPTISTA, M. B., BRASIL L. S. S., FREITAS I. C., DIAS R. F. C. **Águas Pluviais Técnicas Compensatórias para o Controle de Cheias Urbanas**. 1. ed. Belo Horizonte, BH: ReCESA, 2007.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Visões**, v. 4, n. 4, p. 63–72, 2008.

BORGES, M. C. P. **Estudo para Implantação de Técnicas de Drenagem Sustentável na Região Administrativa Guará II do Distrito Federal**. UnB, 2018.

BRASIL. Lei nº. 10.257, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana., 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Drenagem Urbana Sustentável**. Manual para apresentação de propostas, 2006.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, 2007.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. 3. ed., New York, Spon Press, 2010

CAMUZI, V. T. M. **Análise da drenagem urbana no Riacho Fundo**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). UnB, 2017.

CANHOLLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 1. ed. São Paul, SP: Oficina De Textos, 2013.

CARVALHO, D. J. **Manejo de Águas Pluviais com Solução de Baixo Impacto para a Área Residencial - Estudo de Caso Setor Habitacional Taquari Etapa 1 Trecho 2/DF**. UnB, 2018.

CHI WATER. **PCSWMM Support**. Disponível em: <<https://support.chiwater.com/>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

COLLISCHONN, W., DORNELLES, F. **Hidrologia Para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1. ed. Porto Alegre. ABRH, 2013. 336 p.

CONCREMAT - ENGENHARIA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Diagnóstico do Sistema de Drenagem - Relatório de Produto 2**. Brasília: Secretaria de Estado de Obras, Novacap, 2008.

COSTA, H. S. DE M.; BONTEMPO, V.; KNAUER, S. **PROGRAMA DRENURBS : uma discussão sobre a constituição de alianças de aprendizagem na Política de Saneamento de Belo Horizonte. XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Caxambu, MG: [s.n.].

COSTA, M. E. L. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá**. UnB, 2013.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, n. 51, p. 1–18, 2007.

DIAS, F.; CASTAGNA, G. Sistema integrado de manejo de água: o caso do Edifício Harmonia 57. **Revista Concreto**, v. 71, p. 26–33, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa; 1999. 412 p.

FCTH, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Soluções para cidades: Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre**. ABCP, 2013

FCTH, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Soluções para cidades: Programa DRENURBS - Uma concepção inovadora dos recursos hídricos no meio urbano de Belo Horizonte** ABCP, 2013

FILENI, F. **Modelagem quantitativa da drenagem urbana e proposições de drenagens sustentável para a região de Ceilândia-DF**. UnB, 2018.

FISRWG (FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP). **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. [S.l.]: USDA (U.S. Department of Agriculture), 1998.

GONÇALVES, M. S. **Monitoramento e modelagem de telhados verdes como técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto**. UnB, 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 803 de 25 de abril de 2009. Aprova Plano Diretor de Ordenamento Territorial Urbano do Distrito Federal – PDOT**. Brasília. Codeplan, 1996

GDF, GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 97, de 08 de abril de 1998. Aprova o Plano Diretor Local da Candangolândia, RA XIX.** Brasília, 1998.

LEÃES, J. M. **Memorial Descritivo de Projeto Candangolândia.** [s.l.] UnB, 2014.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis.** [s.l.] Instituto Politécnico de Coimbra, 2014.

LIMA, J. E. F. W., *et al.* **Desenvolvimento de Base de Dados de Solos para a Aplicação do Modelo SWAT em Bacia do Bioma Cerrado.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves/RS

MAKSIMOVIC, C. **General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in Specific Climates Title.** Paris, FR: UNESCO, 2001.

MANCINI, G. A. **Avaliação dos custos da urbanização dispersa no Distrito Federal.** Universidade de Brasília, 2008.

MARSALEK, J.; SCHREIER, H. Innovation in Stormwater Management in Canada: The Way Forward. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 44, n. 1, p. V–X, 2009.

MOREIRA, D., Baptista, M. **Incorporação de Técnicas Compensatórias em Projeto de Microdrenagem.** In: XI Encontro Nacional de Águas Urbana, 2017, Belo Horizonte.

NOVACAP (COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL). **O Projeto Drenar DF.** Apresentação no Simpósio "Olhares sobre o Manejo de Águas Pluviais no DF: desafios e oportunidades" (ABES/DF e UCB). Brasília: Novacap, 2016.

PINTO, N. L. DE S. *et al.* **Hidrologia Básica.** 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Edgard Blucher, 1976.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 48, p. 15–23, 2000.

RICA, C. Impactos da urbanização no sistema hidrológico: inundações no município de Guarujá - SP. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1–12, 2011.

RIGHETTO, A. M. **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009.

ROSSMAN, L. A. **Epa SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana do Usuário**. João Pessoa, Paraíba: UFPB, 2012.

SERENCO (SERVIÇO DE ENGENHARIA CONSULTIVA). **Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: Adasa, 2017.

SANTINI JUNIOR, M. A. **Modelagem hidráulica/hidrológica do escoamento superficial com a utilização do SWMM integrado ao SIG: o exemplo da Ilha de Solteira-SP**. Unesp, 2018.

SILVEIRA, A. L. L. **Drenagem Urbana**. Comitês de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo, p. 70, 2004.

SOUSA, S. P. C. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica**. UFPB, 2016.

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, p. 9–18, 2012.

SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto. **Simpósio de Recursos Hídricos do Sul RS-SC-PR**, v. d, n. 51, p. 1–19, 2005.

SUDERHSA, S. DE D. DE R. H. E S. **Manual de Drenagem Urbana**. 1. ed. Curitiba, PR: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2002.

TASSI, R.; PICCILLI, D. G. A.; BRANCHER, S. C.; ROMAN, C. A. Preferências da população de diferentes estratos sociais no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 39–52, 2016.

TUCCI, C. E. M. Gestão e Drenagem Urbana. In: **Textos para Discussão**. Brasília, DF: CEPAL-IPEA, 2012. p. 4–54.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integradas de Bacia Hidrorráfica**. Brasília, DF: Ministérios do Meio Ambiente, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. Ciência e Cultura, v. 55, 2003.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas Na América Do Sul**. 1. ed. Porto Alegre, RS: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileita de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, RS: UFRGS/Associação Brasileira de recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C., E., M. **Água no Meio Urbano**. UFRGS, 1997.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo,SP: Oficina De Textos, 2016.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Bacia Hidrográfica. In: **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1975. p. 7–28.