



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MURILO TREVISAN BRESCI JUNIOR

**ESTRATÉGIAS PARA DRENAGEM URBANA NOS CENÁRIOS DE  
REQUALIFICAÇÃO DO CANAL COLINA EM JABOATÃO DOS  
GUARARAPES - PE**

Recife  
2021

MURILO TREVISAN BRESCHI JUNIOR

**ESTRATÉGIAS PARA DRENAGEM URBANA NOS CENÁRIOS DE  
REQUALIFICAÇÃO DO CANAL COLINA EM JABOATÃO DOS  
GUARARAPES - PE**

Dissertação para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Civil do Centro de  
Tecnologia e Geociências da Universidade  
Federal de Pernambuco.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suzana Maria Gico Lima Montenegro.

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

B842e Bresci Junior, Murilo Trevisan  
Estratégias para drenagem urbana nos cenários de requalificação  
do canal Colina em Jaboatão dos Guararapes-PE / Murilo Trevisan  
Bresci Junior – Recife, 2021.  
85 f.: figs., quads., tabs. sigs.

Orientadora: Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.  
Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. SWMM. 3. Técnicas compensatórias. 4.  
Modelagem hidráulica. I. Montenegro, Suzana Maria Gico Lima  
(Orientadora). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022 - 104

MURILO TREVISAN BRESCHI JUNIOR

**ESTRATÉGIAS PARA DRENAGEM URBANA NOS CENÁRIOS DE  
REQUALIFICAÇÃO DO CANAL COLINA EM JABOATÃO DOS  
GUARARAPES-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em 24/02/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

participação por videoconferência  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suzana Maria Gico Lima Montenegro (orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof. Dr. António José Trigo Relvas (examinador externo)  
Engconsult Consultores Tecnicos Ltda

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (examinador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (examinador interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A realização de um projeto de pesquisa como este só foi possível com o apoio de vários colaboradores. **Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa. E ao Grupo de Recursos Hídricos da UFPE,** em especial à Professora Suzana Maria Gico Lima Montenegro e ao Professor Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma, o meu reconhecimento e gratidão.

Aos amigos, família e colegas de trabalho por entenderem a importância desta tarefa, pelo apoio e compreensão, em especial a Anderson Farias, Ariely Albuquerque, Renato Cavalcanti e Tiago Inocêncio.

## RESUMO

O protagonismo dos cursos d'água urbanos, outrora desprezados no planejamento das cidades, tem sido reconhecido e é cada vez mais resgatado a serviço da sociedade através de boas práticas de urbanização. Este trabalho teve como objetivo analisar diferentes estratégias de drenagem urbana na bacia do Canal Colina, localizado em Jaboatão dos Guararapes-PE, que apresenta seção degradada e consequentes problemas de escoamento. A bacia do Canal Colina (15,4 hectares) foi subdividida em 27 sub-bacias, respeitando o Modelo Digital do Terreno (MDT), e foi discretizada no tocante ao uso do solo, através de geoprocessamento realizado pelo software ArcGIS, da Environmental Systems Research Institute (ESRI), a fim de descrevê-la mais precisamente. Foram estudados dois cenários de topologia, onde o desempenho de dispositivos de microdrenagem (galerias de drenagem) foi comparado ao desempenho de dispositivos de macrodrenagem (canais revestidos), e em ambos cenários foi verificada a efetividade do uso de técnicas compensatórias, usualmente denominadas por *Low Impact Development* (LID). A modelagem hidráulica foi realizada através dos softwares HEC-RAS, do U.S. Army Corps of Engineers (USACE) e SewerCAD, da Bentley. A simulação de eventos de precipitação e do uso de técnicas compensatórias foi realizada através do software SWMM, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). Foram comparados gráficos de capacidade dos condutos e hidrogramas de pontos de controle, bem como a área de desapropriação necessária para realizar as intervenções propostas. Os resultados permitiram demonstrar os efeitos positivos das técnicas compensatórias, atestar a equivalência hidráulica das topologias adotadas e constatar o número consideravelmente superior de desapropriações no cenário de requalificação total do canal. Além das variáveis técnicas, o contexto social deve ser considerado ao selecionar uma das alternativas estudadas.

**Palavras-chave:** SWMM; técnicas compensatórias; modelagem hidráulica.

## ABSTRACT

The importance of urban watercourses, previously neglected in city planning, is currently being recognized and is increasingly being restored to the society through good urbanization practices. This work aimed to analyze different urban drainage strategies in the Canal Colina basin, located in Jaboatão dos Guararapes-PE, which presents a degraded section and consequent drainage problems. The Canal Colina basin (15,4 hectares) was subdivided into 27 sub-basins, respecting the Digital Terrain Model (DTM), and was discretized according to land use, through geoprocessing on ArcGIS software, from the Environmental Systems Research Institute (ESRI), in order to describe it more precisely. Two topology scenarios were studied, where the performance of microdrainage devices (drainage conduits) was compared to the performance of macrodrainage devices (lined channels), and in both scenarios the effectiveness of the use of Low Impact Development (LID) devices was verified. Hydraulic modeling was performed using HEC-RAS, from the U.S. Army Corps of Engineers (USACE) and Bentley's software SewerGEMS. The simulation of precipitation events and the use of LID devices was performed using the SWMM software, from the United States Environmental Protection Agency (EPA). As a result, the conduits' and channel's capacities and hydrographs of control points were compared, as well as the area of expropriation necessary to carry out the proposed interventions. The results allowed to demonstrate the positive effects of LID devices, testify the hydraulic equivalence of the adopted topologies and to verify the considerably higher number of expropriations in the scenario of Canal Colina's total requalification. In addition to the technical variables, the social context must be considered when selecting one of the studied alternatives.

**Keywords:** SWMM; LID; hydraulic modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos da urbanização sobre as águas.....	22
Figura 2 - Impactos da urbanização nos leitos de um rio. ....	24
Figura 3 - Sistema separador absoluto e sistema unitário.....	27
Figura 4 - Fluxograma das situações de esgotamento sanitário. ....	29
Figura 5 - Evolução da integração e sofisticação da gestão de drenagem urbana. ...	33
Figura 6 - Tipos de técnicas compensatórias. ....	35
Figura 7 - Risco de aumento das cheias a jusante em implantação não coordenada de técnicas compensatórias. ....	40
Figura 8 - Distribuição de Huff.....	44
Figura 9 - Localização do canal Colina. ....	45
Figura 10 - Obstruções identificadas em trechos do canal Colina.....	46
Figura 11 - Delimitação da bacia do canal Colina. ....	47
Figura 12 - Sub-bacias do canal Colina. ....	48
Figura 13 - Composição da área da bacia do canal Colina.....	50
Figura 14 - Curvas IDF $i_1$ e $i_2$ para Tempo de Retorno de 50 anos na RMR .....	52
Figura 15 - Visão conceitual do fenômeno do escoamento no SWMM. ....	55
Figura 16 - Representação conceitual de um controle LID – SWMM.....	60
Figura 17 - Modelagem no HEC-RAS – Seções transversais. ....	64
Figura 18 - Modelagem idealizada do canal revitalizado.....	65
Figura 19 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 30$ min). ....	67
Figura 20 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 30$ min)...	68
Figura 21 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 60$ min). ....	68
Figura 22 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 60$ min)...	69
Figura 23 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 120$ min). ....	69

Figura 24 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 120$ min).	70
Figura 25 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 30$ min). .....	71
Figura 26 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 30$ min)...	71
Figura 27 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 60$ min). .....	72
Figura 28 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 60$ min)...	72
Figura 29 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 120$ min). .....	73
Figura 30 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 120$ min).	74
Figura 31 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 ( $t_d = 30$ min). .....	74
Figura 32 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 ( $t_d = 60$ min). .....	74
Figura 33 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 ( $t_d = 120$ min). .....	75
Figura 34 - Área de Preservação Permanente e desapropriações (Cenário 1).....	76
Figura 35 - Área de Preservação Permanente e desapropriações (Cenário 2).....	77

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e limitações associadas a cada técnica compensatória.....	36
Quadro 2 - Vocação e possibilidade das técnicas compensatórias.....	39
Quadro 3 - Descri�o dos grupos hidrológicos – Método SCS. ....	57
Quadro 4 - Descri�o das condi�o es de umidade – Método SCS.....	57
Quadro 5 - Descri�o das camadas de um controle LID – SWMM. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de recorrência por dispositivo de drenagem. ....	42
Tabela 2 - Composição da área das sub-bacias do canal Colina.....	49
Tabela 3 - Distribuição de Huff – 1º quartil, 50% de probabilidade de excedência. ..	52
Tabela 4 - Precipitação para 30, 60 e 120 minutos de duração (TR 50 anos). ....	53
Tabela 5 - Tabela de rugosidades de Manning. ....	55
Tabela 6 - Valores de CN - Condições hidrológicas II.....	58
Tabela 7 - Dados de entrada das sub-bacias no SWMM. ....	62
Tabela 8 - Planilha de dimensionamento da galeria de drenagem.....	63
Tabela 9 - Vazão calculada pelo método Racional para o canal Colina.....	64
Tabela 10 - Parâmetros adotados para pavimentos permeáveis no SWMM .....	66
Tabela 11 - Parâmetros adotados para telhados verdes no SWMM .....	66

## LISTA DE SIGLAS

CN Curva Número

FIDEM Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife

PMJG Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes

SCS Soil Conservation Service

TR Tempo de Retorno

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Relação entre cidades e os cursos d'água .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Efeitos da urbanização.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Canalização de corpos hídricos urbanos.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Concepção de galerias de drenagem .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>Requalificação de riachos e canais .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Técnicas compensatórias.....</b>	<b>32</b>
<b>3.7</b>	<b>Precipitação de projeto .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Curva número .....</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>Tempo de recorrência .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4</b>	<b>Tempo de duração da chuva .....</b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b>Intensidade da chuva de projeto.....</b>	<b>51</b>
<b>4.6</b>	<b>Distribuição temporal da chuva .....</b>	<b>52</b>
<b>4.7</b>	<b>Modelagem matemática no SWMM .....</b>	<b>53</b>
<b>4.8</b>	<b>Dados de entrada no SWMM .....</b>	<b>61</b>
<b>4.9</b>	<b>Dispositivos LID adotados.....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1</b>	<b>Cenário 1: Galeria de drenagem no trecho com eixo ocupado .....</b>	<b>67</b>

<b>5.2</b>	<b>Cenário 2: Canal requalificado em sua totalidade.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3</b>	<b>Contraste entre os cenários 1 e 2 .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os cursos d'água são atores de extrema importância no planejamento e execução de projetos de urbanização das cidades. Correntes de pensamento obsoletas, que apenas enxergavam a necessidade de afastar as águas o mais rapidamente possível, foram adotadas expressivamente ao longo do século passado, tempo no qual grande parte do mundo em desenvolvimento teve seu ápice de expansão de urbanização.

A desconsideração dos rios, riachos e canais no crescimento dos centros urbanos trouxe consigo fragilidades importantes, que geram transtornos a cada evento pluviométrico de grande porte. Nesse sentido, a prática evidencia que, ao longo do tempo, urbanizações que respeitam as características locais de escoamento não demandam grandes intervenções, ao passo que empreendimentos que desconsideram as condições naturais topográficas de drenagem poderão demandar vultuosas obras de contenção, a fim de mitigar os riscos da população afetada, sendo ainda assim passíveis de aumentos em escala das vazões escoadas geradas por novas áreas impermeabilizadas (BOTELHO, 2011).

A ocupação das margens ou até mesmo dos leitos de riachos urbanos, contudo, tem face agravada quando associada a vulnerabilidades sociais. A falta de fiscalização do poder público nesse sentido, ao não coibir o estrangulamento das seções de escoamento geradas pela expansão dos domicílios, gera um cenário que demandará soluções do próprio poder público, seja desapropriando para restaurar a seção original, executando obras de drenagem alternativas ou associando diferentes tipos de solução. A falta de ações definitivas e enérgicas acaba por gerar situações cíclicas de ocupação e intervenção em áreas consideradas *non aedificandi*.

Objeto deste estudo, a bacia de drenagem e o leito do canal Colina, localizado em Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco, possuem características intrínsecas à situação de urbanização e às vulnerabilidades sociais descritas anteriormente. O canal apresenta ocupações que estrangulam e até mesmo ocupam em totalidade a seção do curso d'água. Este cenário, somado à deficiência de saneamento e depósito de resíduos sólidos, penaliza o escoamento e gera impactos negativos para a população, motivo que justifica o presente estudo.

No contexto atual, as correntes de pensamento cada vez mais consideram os cursos d'água como fator paisagístico, urbanístico e integrado ao controle de cheias,

em detrimento a conceitua-los como meros condutos que afastam as águas o mais rapidamente possível. Existem diversos exemplos de projetos de restauração de rios, canais e riachos urbanos que trouxeram não apenas ganhos ambientais como também agregaram valor à região em que estavam inseridos.

Nesse sentido, as técnicas compensatórias tem ganhado destaque no intuito de restaurar as condições naturais de escoamento. Podem ser concretizadas tanto por medidas estruturais, como é o caso de intervenções por meio de obras, como por medidas não estruturais, que estão associadas a medidas de gestão do uso do solo. De forma geral, as técnicas compensatórias consideram os impactos da urbanização a nível global, tendo como objetivo compensar efeitos da urbanização ao promover o retardo nos tempos de pico associado à redução de vazões máximas.

Neste trabalho, serão estudados dois cenários de topologia, onde o desempenho de dispositivos de microdrenagem (galerias de drenagem) será comparado ao desempenho de dispositivos de macrodrenagem (canais revestidos), e em ambos cenários será verificada a efetividade do uso de técnicas compensatórias, usualmente denominadas por Low Impact Development (LID). Devido à situação do canal Colina, com seção transversal não uniforme devido às ocupações em seu leito, houve dificuldades no levantamento de dados.

A modelagem hidráulica dos dispositivos dos cenários a serem estudados foi realizada através dos softwares HEC-RAS, do U.S. Army Corps of Engineers (USACE) e SewerCAD, da Bentley. A simulação de eventos de precipitação e do uso de técnicas compensatórias será realizada através do software SWMM, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

O estudo tem como objetivo comparar gráficos de capacidade dos condutos e hidrogramas de pontos de controle, bem como avaliar os efeitos das técnicas compensatórias. Também é objetivo deste estudo avaliar o contexto social através da definição da área de desapropriação necessária para realizar as intervenções propostas nos cenários anteriormente descritos. Os resultados a serem obtidos através da modelagem comparativa aqui proposta são de grande relevância para subsidiar a tomada de decisões.

## **2 OBJETIVO**

A seguir serão descritos os objetivos gerais e específicos deste estudo.

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é comparar tecnicamente soluções de macro e microdrenagem, bem como o impacto do uso de técnicas compensatórias em um bairro altamente urbanizado na área da bacia do canal Colina, localizado no município de Jaboaão dos Guararapes.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Quantificar e qualificar possíveis intervenções na calha do canal para cada cenário de requalificação do curso d'água;
- Avaliar o impacto do uso de técnicas compensatórias em cada cenário estudado.
- Avaliar e contrastar a necessidade de desapropriação de cada cenário estudado.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A seguir será apresentada a revisão bibliográfica referente aos tópicos que serão desenvolvidos neste trabalho. Será feita uma abordagem histórica seguida da definição de conceitos chave que serão contextualizados no capítulo da metodologia.

#### **3.1 Relação entre cidades e os cursos d'água**

A relação entre homem e os cursos d'água que o circundam varia bastante ao longo do tempo de acordo com as condicionantes históricas. De acordo com Baptista e Cardoso (2013), foi junto aos rios que pequenas vilas sofreram transformações graduais que resultaram na viabilização das cidades nos momentos iniciais da civilização. Esse fato foi observado no vale do Indo e nos vales dos rios Amarelo e Nilo, em torno do quinto milênio antes de Cristo, como parte do processo da sedentarização do homem. Os autores justificam esse fenômeno pelas necessidades de consumo, de higiene, pelas atividades agrícolas e artesanais, e também pelo papel desempenhado nas comunicações, comércio e até mesmo na defesa e proteção das cidades.

Segundo Swyngedouw (2001, apud MELLO, 2008) “podemos reconstruir e conseqüentemente teorizar sobre o processo de urbanização como um processo político-ecológico tendo a água como ponto de partida”. Capilé (2015) afirma que os rios urbanos são considerados elementos ativos e dinâmicos da paisagem urbana, tendo suas transformações, antropogênicas ou não, desempenhado importantes papéis no crescimento da cidade em que são inseridos.

Exemplos são fartos quanto à importância dos cursos d'água para as cidades, contudo podem-se destacar certos exemplos nesse contexto. De acordo com Maneglier (1992), a cidade de Paris teve seu berço, a Île de la Cité, concebido fruto do cruzamento da estrada dos Pirineus ao Reino com o Rio Sena. Sob domínio romano, a preeminência da hidrovia sobre as incertas rotas terrestres se afirmou. Os elementos essenciais para a vida da cidade naturalmente chegavam à cidade pelo rio. No mesmo continente, Bassini (2012) ressalta o fator de contemplação dos corpos hídricos urbanos ao sugerir que viajar pelos canais de Veneza pode estar entre as mais belas experiências que um indivíduo pode vivenciar, ressaltando que é um dos únicos centros do mundo que pode ser visitado navegando, geralmente através do transporte público local típico: o "vaporetto". Mesmo nos registros mais antigos das civilizações há relatos da importância e até devoção aos rios. Hapi, divindade da

mitologia egípcia, personifica a inundação periódica que acontecia no Egito e a fertilidade que a acompanhava (CASTEL, 2001), sendo M nfis, capital do Egito Antigo, localizada uma posição estratégica na embocadura do delta do rio Nilo (BARD; SHUBERT, 1999).

No cenário nacional, observam-se a presença de abundantes exemplos da intensa relação entre população e recursos hídricos, apesar da ocorrência de problemas advindos das dificuldades sociais enfrentadas por considerável parcela da população. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2018), na região amazônica, região Norte do Brasil, o principal meio de deslocamento de pessoas e cargas é sobre as  guas, sendo os mais de 16 mil quil metros de hidrovias “um verdadeiro convite ao uso das  guas para a integração dos grandes centros regionais, as comunidades ribeirinhas e os portos marítimos e fluviais na dinâmica econ mica, social e cultural da Amazônia”.

Mesmo em centros urbanos, os rios e riachos urbanos demonstram relevante importância e impacto na configuração das cidades. O município do Recife por exemplo, é cortado por 99 canais numa extensão total de 115,3 km distribuídos ao longo de 10 bacias hidrográficas (DE ALENCAR, *et al.*, 2016). De acordo com Carvalho (2004), a relação da cidade com as águas começa desde a formação da planície onde foi construída, que foi resultado de processos de deposição de sedimentos marinhos e fluviais, apresentando condições propícias para o estabelecimento do porto. Ainda segundo o autor, mesmo que tenham sido importantes para a função portuária, os cursos d’água existentes a princípio foram penalizados pela urbanização, que promoveu o domínio da água através de ambientes secos e aterrados quando sob domínio dos portugueses. No período da colonização holandesa, o convívio com as  guas no país de origem dos colonizadores trouxe novas formas de ocupar o ambiente com a construção de não somente pontes, mas também dos primeiros canais do Recife. A chegada de Maurício de Nassau e ampliação da ocupação da cidade trouxe consigo o que seria o primeiro plano de desenvolvimento urbano de Recife, em 1639, contando com linhas de drenagem projetadas para a Ilha de Ant nio Vaz (LINS, 2011).

A cidade do Recife é popularmente conhecida como Veneza brasileira e conta com cerca de 10% do total de seu território como superfície líquida, valor este que acrescentadas as áreas alagáveis sobe para 21,5%, de acordo com a Fundação de Desenvolvimento Municipal – FIDEM (apud CARVALHO, 2004). Entretanto, Silva e

Mello (2017) afirmam que com o passar do tempo os rios da cidade foram depreciados e esquecidos por parcela importante de sua população. Nesse contexto, a população em contato direto com o rio tais como habitantes de comunidades ribeirinhas, principalmente pescadores e barqueiros locais que tinham os rios como fonte de renda para subsistência, foram diretamente afetados pelo depósito de resíduos, efluentes e seus odores.

A intensa conexão da urbanização com canais e riachos urbanos não é restrita a Recife. Jaboatão dos Guararapes, inserida na Região Metropolitana do Recife, é cortada por 48 afluentes canalizados, sendo 32 na bacia do Baixo Jaboatão e 16 na da Lagoa Olho d'Água (TECHNE ENGENHEIROS E CONSULTORES, 2007). Em diversos locais ao longo dessas bacias, o solo se encontra impermeabilizado, devido à configuração da urbanização, e conta com a presença de aterros com cotas inadequadas ou em áreas alagáveis. A estes fatores, soma-se a ocorrência da ocupação e obstrução do leito dos cursos d'água, agravando os problemas da drenagem local.

### **3.2 Efeitos da urbanização**

A evolução da urbanização nas cidades trouxe consigo significativos impactos aos cursos d'água inerentes ao processo, principalmente devido à recepção de efluentes sanitários, resíduos e poluição em geral. Baptista e Nascimento (2002) afirmam que desde as Idades Antiga e Média, a configuração de estratificação social já segregava a população no que tange a ocupação de áreas poluídas e sujeitas à inundação. A parcela menos favorecida da população julgava que os benefícios do acesso direto à água eram superiores aos possíveis transtornos das condições adversas de saneamento e ocorrência de cheias periódicas.

O crescimento da população urbana também trouxe consigo o aumento de doenças de veiculação hídrica. Como resposta às adversidades supracitadas, surge o higienismo, originário da Europa e posteriormente difundido no Brasil (BAPTISTA; CARDOSO, 2013). Nesse cenário, e sintetizando os princípios dessa corrente de pensamento, Ward (1852, apud BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011) faz uma analogia dos sistemas urbanos de água com a circulação sanguínea. O sistema arterial seria equivalente ao abastecimento de água limpa, enquanto o sistema venoso estaria associado à evacuação das águas residuais e pluviais.

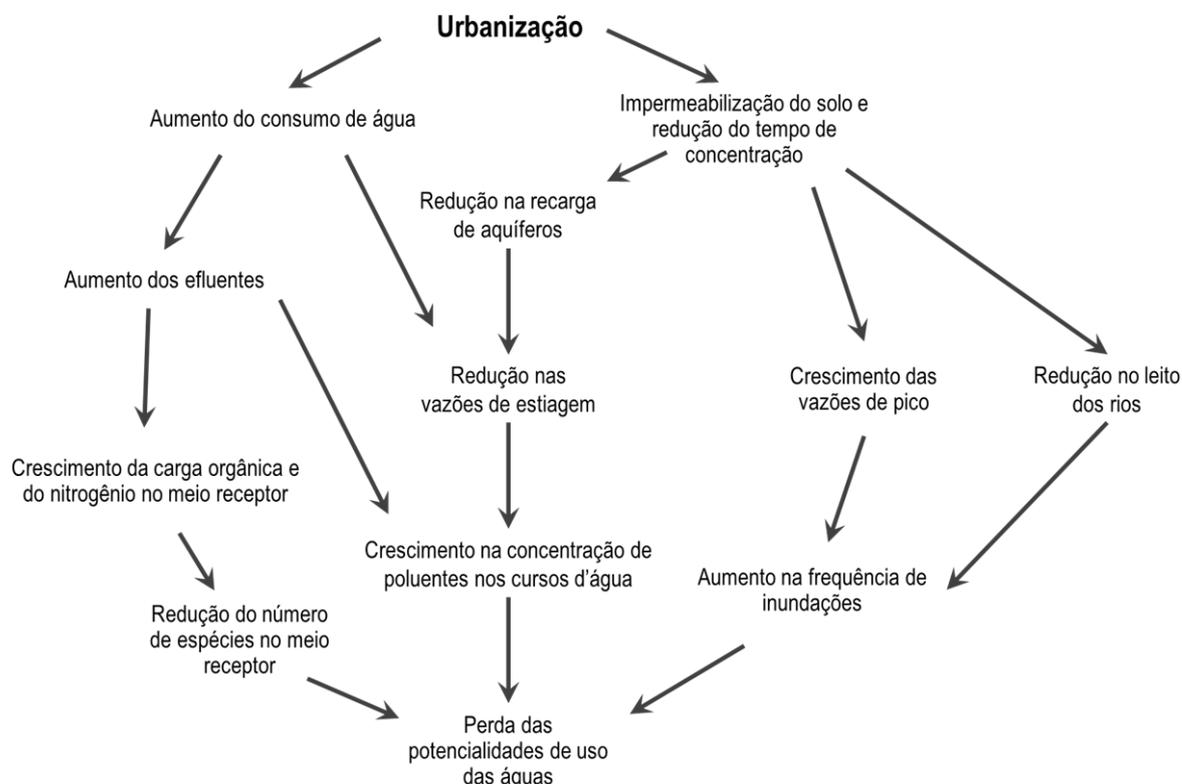
O surgimento dessa doutrina, a princípio, apostava em uma solução por meio da rápida evacuação das águas pluviais e servidas. A concretização desse despejo acelerado era pautada pela execução de redes de tubulação subterrâneas e na canalização de rios e córregos, levando à perda progressiva do papel da água na paisagem das cidades (BAPTISTA; CARDOSO, 2013).

Tominaga (2013) descreve os sistemas de drenagem clássicos, de enfoque higienista, com a função singular de controlar as cheias e afastar as águas rapidamente, através de retificação e isolamento dos rios, resultando invariavelmente em estruturas que proporcionam baixo valor social e ecológico. É o caso das canalizações dos córregos e rios e, de acordo com a autora, este tipo de solução na maioria das vezes apenas transfere o problema a ser resolvido de montante para jusante, podendo criar novos locais de inundação ou ampliar aqueles já existentes.

Na segunda metade do século XX, de acordo com Cabral, Cerquinha e Carvalho (2015), o ganho de força da urbanização excessiva minimizou o espaço dos cursos d'água, acarretando na degradação dos riachos urbanos. Nesse sentido, Sepúlveda (2010) afirma que a regra adotada na falta de planejamento das principais cidades brasileiras foi a construção de avenidas sanitárias, situação em que o sistema viário predomina sobre o sistema ambiental. No cenário descrito, ocorre um estrangulamento dos cursos d'água com o enclausuramento e retificação de canais em concreto, inclusive com a utilização de seção transversal retangular vertical.

Além do problema das inundações Menezes *et al.* (2016) ressaltam a contaminação dos ecossistemas aquáticos, inerentes às atividades antropogênicas, elencando a má gestão do uso do solo, o crescimento da população e a expansão industrial observadas nas últimas décadas como fatores que provocaram o decréscimo da qualidade da água de rios, lagos e reservatórios. A Figura 1 explicita os impactos da urbanização sobre as águas, que acabam por gerar a perda das potencialidades de uso das águas.

**Figura 1 - Impactos da urbanização sobre as águas.**



Fonte: Adaptado de CHOCAT, 1997 (apud BAPTISTA; CARDOSO, 2013).

Exemplificando os conceitos supracitados, no tocante ao planejamento da expansão urbana, Botelho (2011) sugere que existem três alternativas de urbanização adotadas. A primeira propõe uma urbanização que respeite características topográficas e geológicas da área, sem a necessidade de grandes obras. A segunda, uma urbanização sem atender às características naturais do terreno, necessitando de volumosas e custosas obras de proteção para não gerar consequências danosas. Por fim, a última alternativa se refere a um tipo de urbanização similar à anterior, contudo, sem obras de proteção, causando danos e perigo à população inserida na área em que foi adotada.

Além dos altos custos de futuras obras de proteção e recuperação inerentes à última alternativa de urbanização descrita, que de acordo com Botelho (2011), infelizmente é prática recorrente e com importante preponderância no país, existe o problema ocasionado pelo aumento em escala das vazões escoadas por novas áreas impermeabilizadas. Ou seja, as estruturas de drenagem e proteção contra cheias serão cada vez mais solicitadas, e não havendo o controle da impermeabilização a montante será muito mais complexo solucionar tais problemas uma vez que a

ocupação já está consumada e as vazões de escoamento continuam a aumentar, podendo superar em pouco tempo aquela para a qual as estruturas foram projetadas.

A fim de determinar diretrizes de planejamento com o objetivo de disciplinar o uso do solo no tocante a drenagem, o Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade (TUCCI, 1997). A atenção aos recursos hídricos, muitas vezes negligenciados, confere uma necessária interdisciplinaridade no planejamento, evitando a ausência de rede de esgotamento e galerias pluviais, a ocupação das áreas de risco e até mesmo o gerenciamento inadequado da implantação de obras públicas e privadas no ambiente urbano.

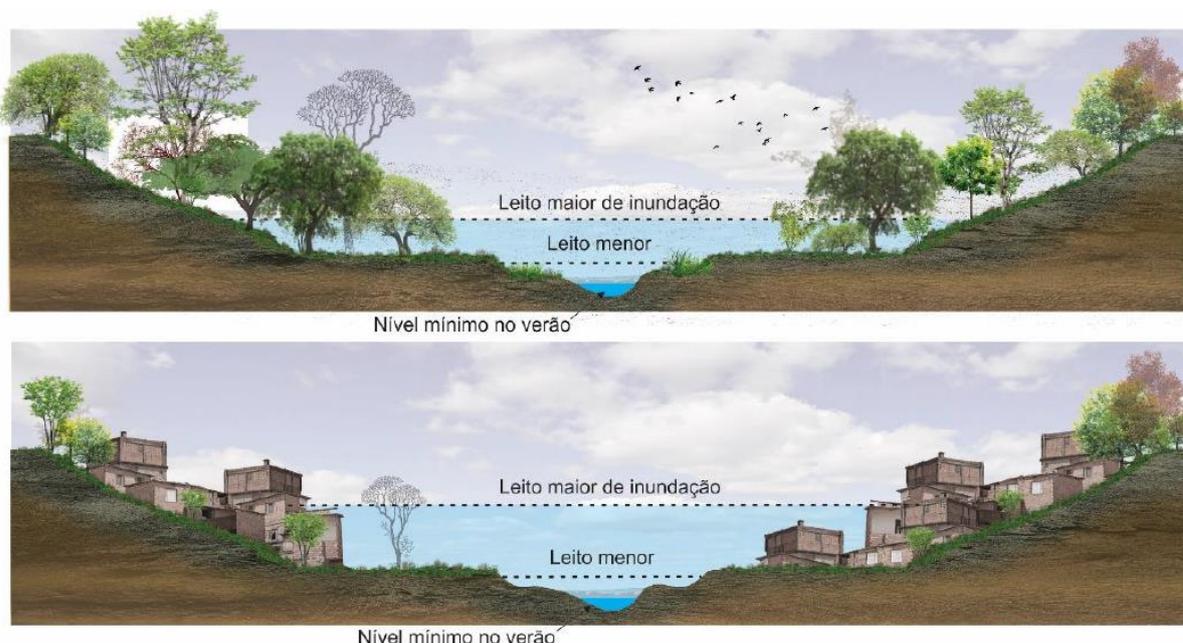
Um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar: (i) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais; (ii) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco e; (iii) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco (TUCCI, 1997).

De acordo com o Manual de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais do Recife (DE ALENCAR, *et al.*, 2016), o Plano Direto de Drenagem de Recife foi elaborado a partir da nova perspectiva de convivência harmônica entre os rios e a cidade, e tem como preceitos o princípio da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a adoção de soluções ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis, o uso de medidas de controle de escoamento superficial na fonte, a redução dos impactos provocados por novos empreendimentos, e outras medidas que incluem a restrição à ocupação das várzeas e áreas frágeis.

Ainda no contexto do planejamento e diretrizes de ocupação, as áreas protegidas pelo “Novo Código Florestal Brasileiro”, lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012) são denominadas Áreas de Preservação Permanente (APPs). Para cursos d’água naturais, perenes e intermitentes – exceto efêmeros, as APPs são delimitadas desde a borda da calha do leito regular em uma largura mínima que varia entre 30 e 600 metros, dependendo da largura do curso d’água. A função ambiental dessa regulamentação tem o intuito de “preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (SFB, 2019), estando essas áreas cobertas ou não por vegetação nativa.

Não obstante, existem diversas ocupações urbanas em faixas marginais dos corpos d'água, ora estabelecidas em períodos que precederam até mesmo o anterior Código Florestal de 1965 e ora frutos de ampliações da cidade informal em áreas de fragilidade ambiental, sem monitoramento eficiente, efetivadas sem a presença de processos de planejamento e sem infraestrutura básica (ROSIN, 2016). Os impactos da urbanização nesse cenário são ilustrados na Figura 2.

**Figura 2 - Impactos da urbanização nos leitos de um rio.**



Fonte: TUCCI, 2005, p. 92, adaptado por ROSIN, 2016.

Na atualidade, Marques e Magalhães Junior (2014) destacam a crescente mudança de paradigmas considerados ultrapassados na gestão dos recursos hídricos com enfoque nas intervenções estruturais, sendo cada vez mais questionadas tanto as soluções por meio de afastamento das águas anteriormente expostas quanto aquelas que promovem a supressão dos cursos d'água da paisagem urbana. Nesse sentido, Baptista e Cardoso (2013) destacam o crescente papel atribuído às águas na sociedade dando espaço para usos múltiplos e integrados, excedendo as funções triviais antes consideradas. Os autores sugerem que essa mudança de paradigmas, que trata a água como protagonista no desenvolvimento, resulta no conceito de "cidades sensíveis à água".

### 3.3 Canalização de corpos hídricos urbanos

Seguindo os preceitos de correntes de pensamento do passado no Brasil e no mundo, a canalização, tubulação, desvio, barramento e outras medidas que alteram o regime natural dos cursos d'água urbanos foram práticas recorrentes. Dentre os frutos dessa conduta podem ser citados o esquecimento progressivo dos cursos d'água pela população e a perda da capacidade de expansão para a seção plena original em caso de cheias, momento em que os habitantes são obrigados a recordar da existência dos rios e riachos urbanos devido aos danos e prejuízos causados pelo avanço das águas (DE CASTRO, 2007).

Marques e Magalhães Junior (2014) retratam o poder público como tradicional ator da artificialização dos cursos d'água, com o intuito de atenuar problemas advindos da própria ausência do Estado na degradação destes.

Se, por um lado, a poluição por resíduos sólidos e esgotos reflete as lacunas do sistema de saneamento, por outro lado os riscos de doenças, inundações e a degradação da qualidade de vida ao longo dos rios poluídos servem de justificativa para a sua canalização, retificação ou supressão da paisagem urbana (MARQUES e MAGALHÃES JUNIOR, 2014).

Considerados dispositivos de macrodrenagem, os canais direcionam o escoamento da água acumulada a nível de microbacia hidrográfica. A prática de canalizar rios tem como objetivo controlar melhor a seção e tentar “domar” as águas. Dentre os exemplos para essa prática, pode ser citado o Rio Tietê, berço da urbanização de São Paulo. De acordo com Baptista e Cardoso (2013), o crescimento acelerado refletido na intensa ocupação das várzeas do Rio Tietê aliado às operações de retificação e revestimento de suas margens resultaram em “um quadro de inundações severas, recorrentes, com prejuízos incalculáveis ao longo de décadas”.

O caso específico do Tietê, assim como a maioria dos demais casos de retificação e canalização, é fortemente ligado à infraestrutura urbana, refletindo o conceito citado por Baptista e Cardoso (2013) de “cidade formal”. A ocupação de leitos ainda não revestidos geralmente é associada à presença de assentamentos precários, que pela própria restrição legal de ocupação é denominada “cidade informal”. Nesse cenário, a degradação dessas áreas se manifesta em problemas ambientais e sociais.

Outro exemplo é a Avenida Agamenon Magalhães, também conhecida como primeira perimetral de Recife, uma via arterial que liga a cidade de Olinda ao bairro de Boa Viagem em Recife. A área onde hoje está a Avenida, de acordo com Carvalho

(2004), era cercada por uma ampla planície de inundação natural, que fazia a comunicação das águas dos rios Beberibe e Capibaribe através de um antigo braço de maré. Por essas características, e pelo caráter estuarino da drenagem de Recife, a via sofria transtornos no período das marés mais altas, problema que foi amenizado com o uso de comportas que restringem a entrada de água das marés (CARVALHO, 2004).

As consequências das práticas supracitadas podem ser significativamente danosas para a população da área diretamente afetada por essas intervenções. De Castro (2007) lembra que uma vez construídas as estruturas que alteram o regime das águas, tais como diques, canais ou outras intervenções, a população se sente protegida por não estar habituada à presença corpo hídrico antes presente e, por esse sentimento, tende a construir imóveis residenciais ou comerciais que estarão vulneráveis e poderão ser prejudicados com os futuros eventos de cheia.

### **3.4 Concepção de galerias de drenagem**

À medida que as cidades começavam a se desenvolver, foi necessário desenvolver soluções de infraestrutura para comportar as mudanças advindas desse processo. A construção de estruturas como a galeria de esgotos de Nippur em 3750 a.C (AZEVEDO NETTO, 1959) e o sistema de drenagem com coletores e drenos em Moenjodaro por volta de 3000 a.C. (WEBSTER apud MATOS, 2013), ambos desenvolvidos pela civilização Hindu, estão entre os primeiros registros da construção de estruturas de coleta de esgotos e drenagem.

Não obstante, de acordo com Matos (2013), a primeira obra de dimensão relevante nesse sentido foi a Cloaca Máxima, em Roma. A infraestrutura foi concebida com o intuito de melhorar a qualidade de vida urbana, e foi caracterizada como um serviço público ao cobrar impostos para cobrir custos de manutenção. Executado no ano de 514 a.C, a estrutura era composta por conduto livre com o diâmetro máximo de 4,30m, em pedra, que coletaria as águas pluviais e residuárias do Forum Romano, e que no futuro se tornaria o coletor tronco de Roma (AZEVEDO NETTO, 1959).

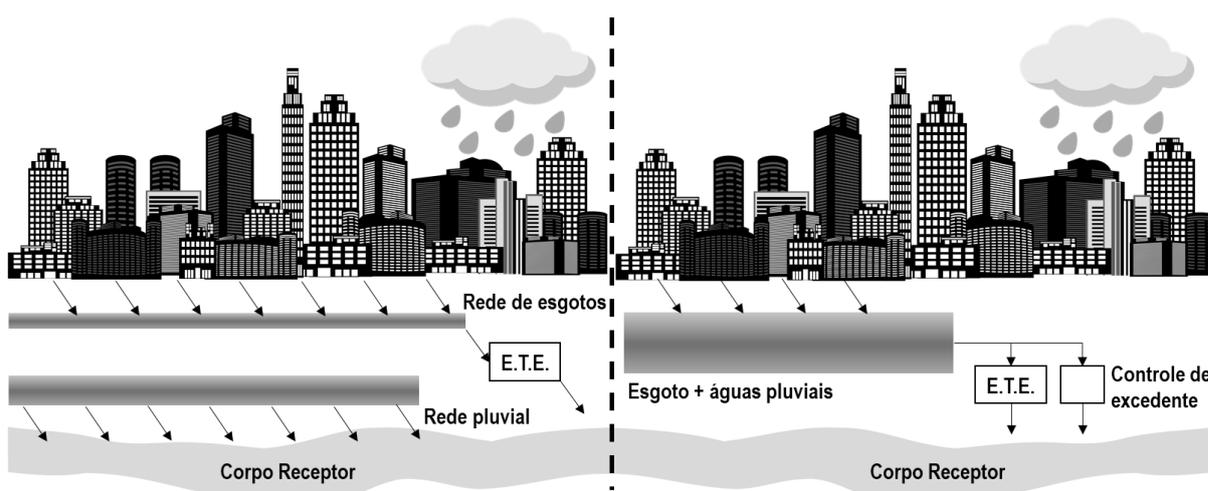
A princípio concebidas pelos anseios das cidades em evitar a proliferação de doenças, que tem a água entre variáveis do processo saúde-doença (DA SILVA, 1998), as galerias cumpriram papel importante nos preceitos higienistas. No entanto, o despejo de efluentes sem tratamento, a jusante de fontes seguras, gerou impactos ambientais que foram intensificados com o crescimento populacional acelerado após

a Segunda Guerra Mundial, o que combinado com o aumento da população das cidades, resultou em colapso do ambiente urbano (TUCCI, 2008).

No cenário nacional, de acordo com Silveira (1998, apud BAPTISTA e CARDOSO, 2013), em sintonia com as então dominantes ideias positivistas, essas práticas foram efetivamente adotadas a partir da Proclamação da República, em 1889, e continuam vigentes nos dias atuais, apenas modificados por aportes científicos e tecnológicos, como por exemplo a adoção do sistema separativo para drenagem e esgotamento sanitário.

Criado em pelo engenheiro George Waring em 1879 na cidade de Memphis, no Tennessee (AZEVEDO NETTO, 1959), o sistema separador absoluto consiste em uma alternativa à rede combinada, que recebe contribuições sanitárias e pluviais por meio de rede única, passando agora a coletá-las em redes segregadas. De acordo com Tsutiya e Bueno (2004), o sistema combinado teria sido desenvolvido para países com baixo índice pluviométrico, contando com extravasores em caso de eventos pluviométricos extremos. Os dois tipos de sistemas são ilustrados na Figura 3. No cenário nacional, a partir de 1912 o sistema separador absoluto começa a ser implantado em São Paulo VOLSCHAN, *et al.*, 2009 e no Rio de Janeiro, onde a orientação do governo passou a ser esse tipo de sistema para as novas intervenções (DIAS e ROSSO, 2011).

**Figura 3 - Sistema separador absoluto e sistema unitário.**



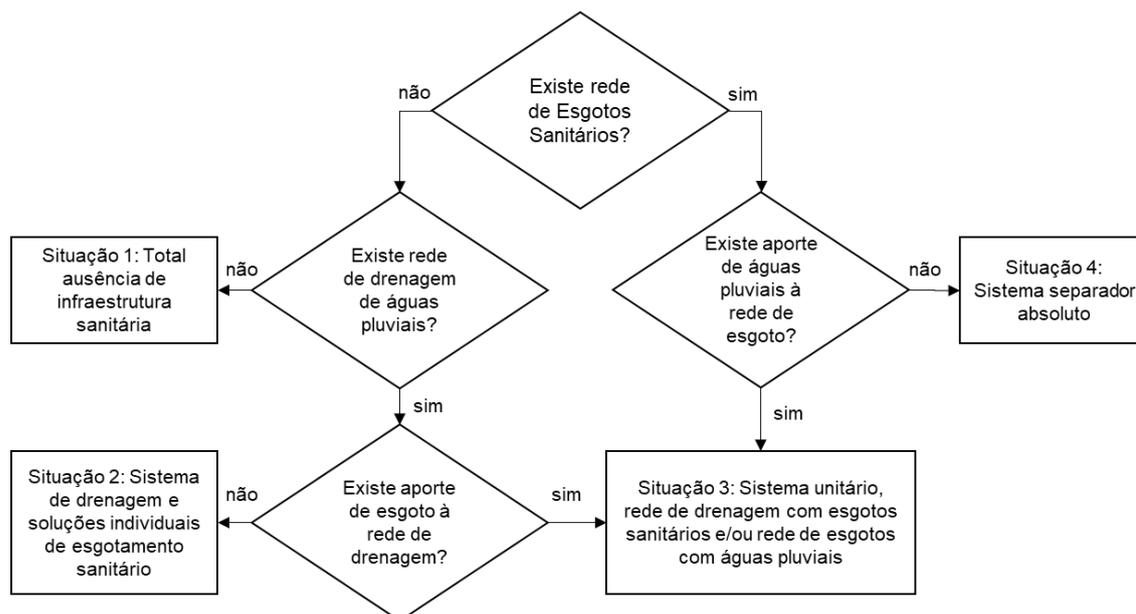
Fonte: TSUTIYA e BUENO, 2004, adaptado pelo autor.

Dentre as vantagens de segregar águas residuárias em veiculação independente ao sistema de drenagem, estão o emprego de menores diâmetros, uma maior flexibilidade de execução conforme a prioridade de atendimento, o menor custo de

afastamento de águas pluviais, o não condicionamento da pavimentação das vias públicas para execução e a redução da extensão de grandes condutos de drenagem, pois nesse formato as galerias não são exigidas em todas as ruas (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011). Nota-se que esses fatores seriam benéficos, tanto pela não necessidade de tratamento das águas pluviais quanto pelo tratamento mais eficiente do esgoto sanitário, principalmente em países de altos índices pluviométricos como o Brasil. Contudo, para o bom funcionamento do sistema de esgotamento sanitário nesse formato é necessário um rigoroso e eficiente controle para evitar o encaminhamento de águas pluviais junto ao sistema de esgotamento sanitário (TSUTIYA; BUENO, 2004).

Apesar de prevista no marco legal do saneamento, tanto pela lei N<sup>o</sup> 9.984, de 17 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), quanto pela sua atualização, lei n<sup>o</sup> 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), na prática essa separação não ocorre, ora pela ocorrência de ligações clandestinas ora pela carência de rede de esgotamento sanitário. De acordo com Tucci (2008), algumas prefeituras inclusive têm permitido o transporte de esgoto pela rede pluvial, o que é uma solução inadequada tanto pelo não tratamento desse efluente quanto por ser uma prática que dificulta a retirada dessas ligações uma vez implementado o sistema sanitário, resultando em sistemas de drenagem e esgotamento misturados com diferentes níveis de carga, na prática, e comprometendo a qualidade das águas para diversos usos. A Figura 4 apresenta um fluxograma com diferentes configurações de infraestrutura, de acordo com o atendimento e a segregação (BERNARDES; SOARES, 2004).

**Figura 4 - Fluxograma das situações de esgotamento sanitário.**



Fonte: BERNARDES e SOARES, 2004, adaptado pelo autor.

O déficit de infraestruturas de saneamento no país é refletido na deterioração da qualidade das águas, principalmente em regiões de alta densidade populacional. Nesse âmbito, o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil publicado em 2015 apresenta o resultado do Índice de Qualidade das Águas em corpos d'água próximos a áreas urbanas, onde 21% dos pontos foram considerados como ruim ou péssimo, contrastando com todo o universo de monitoramento, no qual 7% dos pontos tinham essa característica (ANA, 2017).

Tendo em vista a configuração atual dos centros urbanos, a necessidade da presença de galerias de drenagem é inegável. Contudo, a adoção exclusiva desse tipo de estrutura, onde o pensamento obsoleto de afastar rapidamente as águas prevalece, é cada vez mais questionado, principalmente com o desenvolvimento de técnicas que visam restaurar as condições naturais de drenagem.

### 3.5 Requalificação de riachos e canais

Com a evolução das correntes de pensamento e a quebra de paradigmas dos preceitos higienistas, a requalificação e revitalização dos riachos urbanos cada vez mais se destaca como relevante para a sustentabilidade ambiental das cidades. Para consumir esse objetivo, Baptista e Cardoso (2013) apontam que intervenções nesse sentido devem promover a integração de vertentes urbanísticas, ambientais e tecnológicas.

Cabral *et al.* (2014) ressaltam que práticas direcionadas para a revitalização de riachos urbanos têm resultado no resgate das funções hidráulica, hidrológica, ecológica e social destes. Como lembra Travassos (2010), projetos elaborados ao longo de cursos d'água podem modificar o regime das águas à jusante, e podem gerar impactos sociais, ambientais e urbanos, sendo o sucesso destes “vinculado à realização de análises em múltiplas escalas e de definição de múltiplos objetivos para os projetos”, salientando a necessidade de que estes sejam explícitos e realistas, em consonância com as condições locais e os possíveis cenários de mudança.

O conceito de requalificação e restauração de rios pode ter diferentes definições, a depender da finalidade e autoria da definição. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA) o define como:

Compreende o processo de recuperação, de conservação e de preservação ambiental, por meio da implementação de ações integradas e permanentes, que promovam o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais, o aumento da quantidade e a melhoria da qualidade da água para usos múltiplos (MMA/FNMA, 2005, apud LIMEIRA; DA SILVA; CÂNDIDO, 2010)

Dentre as vantagens advindas da revitalização de riachos urbanos está a melhoria do conforto térmico, o retorno do exercício das funções naturais de drenagem de águas pluviais, a restauração de características ecológicas, além da contribuição para a mobilidade de ciclistas e pedestres, da estética e do lazer contemplativo (CABRAL; CERQUINHA; CARVALHO, 2015).

Além dos benefícios supracitados, os riachos urbanos tem suma importância na recarga das águas subterrâneas. De acordo com Rosin (2016), a relevância da preocupação do Código Florestal com as margens de proteção de rios e demais configurações de corpos d'água é inquestionável, devido ao caráter regulador junto ao regime hídrico na forma de “retenção de águas da chuva, regulação do escoamento superficial, aumento do tempo de infiltração de água para reabastecimento do lençol freático”, sendo essas características essenciais para a capacidade de recarga dos aquíferos.

Nesse sentido, e no âmbito dos novos paradigmas de manejo das águas urbanas, evidencia-se a importância de manter o fundo dos canais e riachos urbanos em terreno natural, ao contrário do pensamento obsoleto de afastar as águas o mais rápido possível em canalizações totalmente impermeabilizadas, como canais com fundo de concreto, por exemplo. De Castro (2007) lembra da consequência da

impermeabilização dos solos na redução da recarga dos aquíferos, afetando áreas que dependem das águas subterrâneas para abastecimento humano ou usos diversos e pode resultar no rebaixamento do nível do lençol freático, e até mesmo na formação de depressões ou dolinas no terreno, que podem levar a eventuais impactos nas construções civis.

O Rio Cheonggyecheon, em Seul, na Coreia do Sul, é um exemplo de um case de sucesso nesse sentido. De acordo com Marques e Magalhães Jr (2014), o rio, que já teve seu leito canalizado em seção fechada por uma importante parte da infraestrutura viária da cidade, passou por um processo de revitalização em 2003 que, acompanhado de projetos de mobilidade urbana, mostrou a viabilidade da utilização metodologias alinhadas com as abordagens modernas em gestão de recursos hídricos.

Com a intervenção, a paisagem de Seul conseguiu o resgate de um de seus principais riachos para a paisagem local, evidenciando que “a valorização urbanopaisagística dos sistemas fluviais é capaz de gerar também oportunidades de lazer e indução ao desenvolvimento econômico das áreas adjacentes” (BAPTISTA; CARDOSO, 2013). De acordo com Noh (2010), além do aumento expressivo de visitantes ao rio – cerca de sete milhões após três anos de obras – e mesmo que a atividade viária tenha continuado intensa, houve uma mudança na mentalidade dos cidadãos no sentido da valorização local, refletindo no valor dos terrenos da região, por exemplo, que aumentou cerca de duas vezes. Aparte da questão do resgate da área degradada para o cotidiano da população, o autor destaca também a melhoria ecológica e ambiental com o decréscimo da temperatura média na área central e o retorno das brisas ao longo dos trechos restaurados.

No cenário local, existe um projeto para a revitalização do riacho Parnamirim, no bairro de Casa Forte, em Recife. Atualmente em condições bastante degradadas parcialmente retificado, com seção original estrangulada, com trechos aterrados e poluído, o canal tem importância na história de Pernambuco como um marco geográfico, tendo sido um lugar de “travessias bucólicas, banhos de água limpa e apanha de pequenos peixes para aquários” (BRAGA *et al.*, 2009). Além disso, riacho tem um papel importante na drenagem superficial da região em que está inserido.

O riacho Parnamirim, ou canal Parnamirim como é popularmente conhecido, possui atualmente 1.170 metros de extensão com cerca de cinco metros de largura. Existe uma ocupação de baixa renda no trecho médio do riacho, conhecida por Ilha

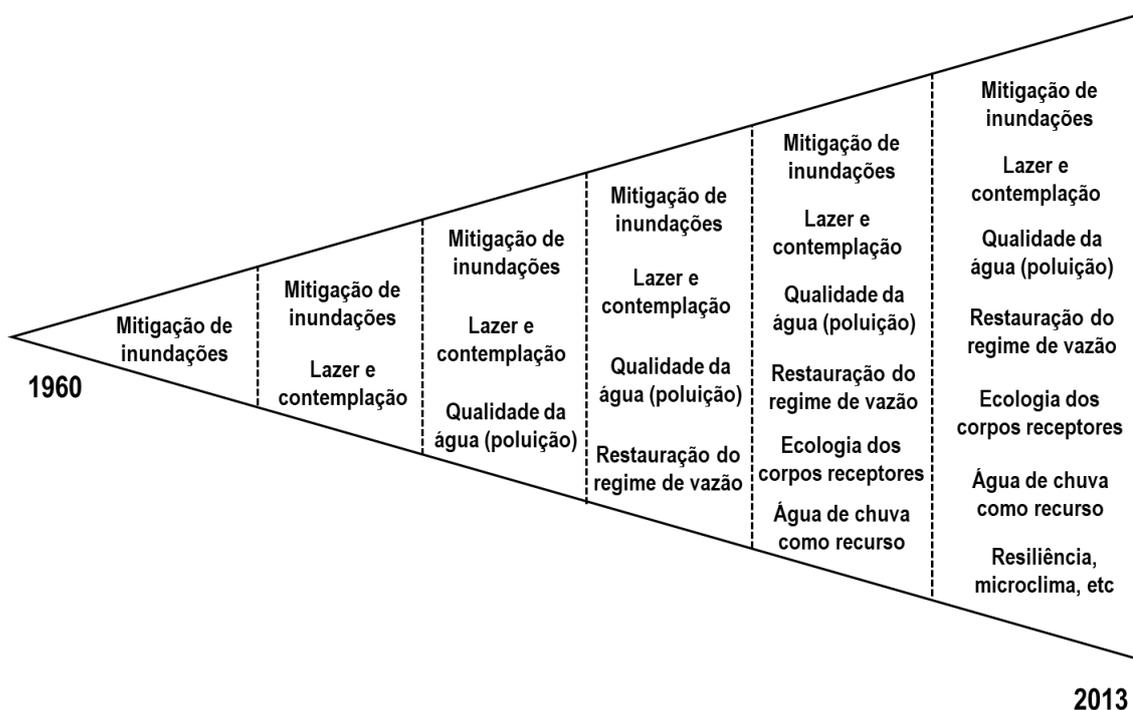
das Cobras ou comunidade Lemos Torres, que ocupa aproximadamente 1 hectare das margens direita e esquerda, e até mesmo do próprio leito do riacho. A população dessa ocupação está sendo removida para um conjunto residencial construído pela prefeitura em terreno vizinho, o que possibilita a remoção das casas do leito do riacho e permite um grande passo para sua revitalização (CABRAL, *et al.*, 2017).

### **3.6 Técnicas compensatórias**

Os governos e organizações em geral, auxiliados pelos avanços acadêmicos, estão cada vez mais direcionados à natureza para mitigar os problemas ambientais, econômicos e sociais causados pela era da industrialização, que contou com rápido e expressivo crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos. Esse pensamento compreende a necessidade de evoluir de uma infraestrutura "cinza" para a uma infraestrutura "verde" no intuito de restaurar o equilíbrio ecológico na paisagem urbana com o duplo propósito de desenvolver ecossistemas resistentes e sociedades mais saudáveis (LAFORTEZZA, *et al.*, 2018).

Nesse sentido, Fletcher *et al.* (2015) ressaltam o fato da gestão da drenagem urbana e do ciclo da água urbano ter sofrido mudanças significativas nas últimas décadas, tal como ilustrado na Figura 5, mudando de abordagens anteriormente restritas ao objetivo de reduzir inundações, para uma abordagem multiobjetivo a definir critérios de projeto e de tomada de decisão, no contexto de uma mudança cultural que promoveu a drenagem urbana de um problema para uma fonte de oportunidades, a exemplo do abastecimento de água suplementar, o aumento da biodiversidade, e a melhora do microclima, que são amplamente reconhecidas (ASHLEY, *et al.*, 2013).

Figura 5 - Evolução da integração e sofisticação da gestão de drenagem urbana.



Fonte: Whelans *et al.*, 1994 apud Fletcher *et al.* 2015, adaptado pelo autor

Apesar desse consenso, no caso da gestão da drenagem urbana, existem na literatura estrangeira variados termos que foram surgindo informalmente nesse contexto, a exemplo de *Low Impact Development* (LID), *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), *Best Management Practices* (BMPs) (FLETCHER, *et al.*, 2015) e mais recentemente o termo *Nature-Based Solutions* (NBS) (KEESSTRA, *et al.*, 2018).

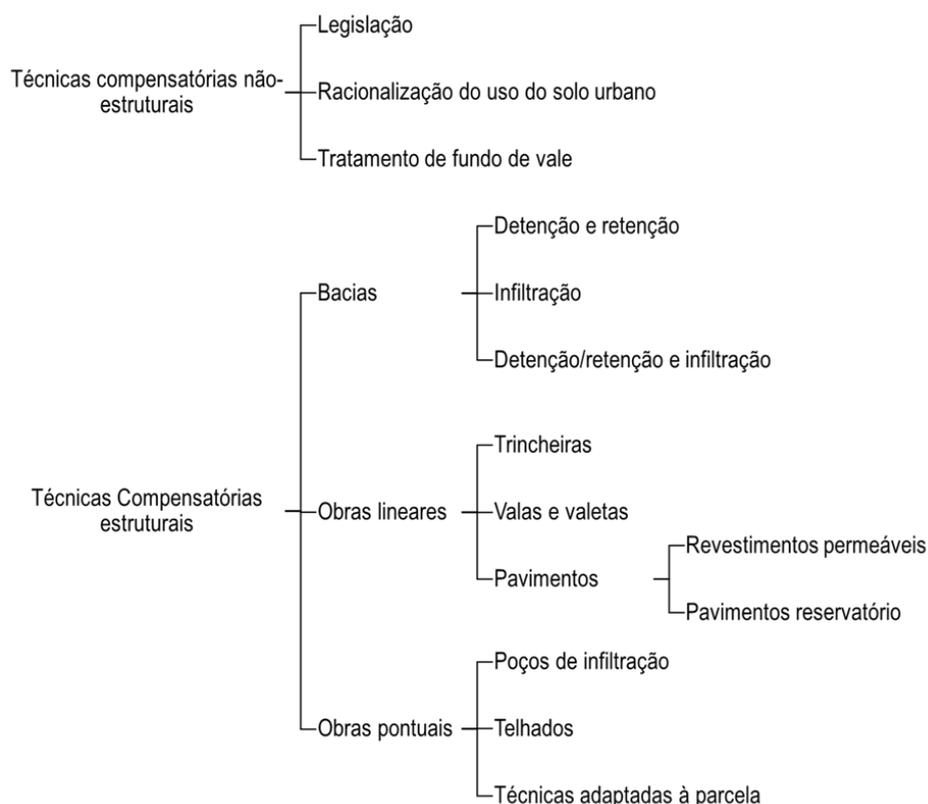
O termo LID, por exemplo é mais usualmente utilizado na América do Norte e Nova Zelândia, com uma abordagem que tenta minimizar o custo da gestão de águas pluviais ao abordar o conceito de projetar com a natureza e com o intuito de alcançar parâmetros como escoamento, infiltração e volumes de evapotranspiração equivalentes àqueles anteriores à urbanização. Esse objetivo é alcançado por meio de uma "paisagem hidrológica funcionalmente equivalente" pelo uso do layout do local e medidas de controle integradas (FLETCHER, *et al.*, 2015).

De acordo com Laforteza *et al.* (2018), o conceito de NBS pode ser vinculado ao uso sustentável da proteção da natureza e dos ecossistemas, à sustentabilidade e multifuncionalidade dos ecossistemas e ao projeto e gestão de novos ecossistemas. A crença fundamental é que possam representar soluções mais eficientes e econômicas do que as abordagens tradicionais de desenvolvimento.

Baptista *et al.* (2011) frisam que essas tecnologias denominadas por alternativas ou compensatórias consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando como base de estudo a bacia hidrográfica, e buscam compensar os efeitos da urbanização. Dentre as soluções mais adotadas nesse contexto, o autor faz menção a: bacias ou reservatórios de detenção; estruturas para armazenamento temporário por simples adequações topográficas; pavimentos porosos destinados ao armazenamento temporário; estruturas que favorecem a infiltração tais como trincheira ou poços de infiltração; canalizações de cursos d'água que favorecem escoamento lento; e detenção temporária das águas e tratamento de fundos de vale com zoneamento de planícies de inundação e delimitação de áreas *non aedificandi* destinadas ao armazenamento temporário.

Nesse sentido, Tominaga (2013) lembra que as técnicas compensatórias são divididas em estruturais e não estruturais. As últimas são, em suma, regulamentações voltadas para o manejo das águas pluviais, a gestão de uso do solo, bem como questões sociais, onde a participação popular é fundamental para um bom desempenho dessas medidas (DE MELO, 2015), enquanto as primeiras se referem a intervenções civis de variados portes, a exemplo de obras hidráulicas pontuais ou lineares visando o controle do escoamento das áreas em que são inseridas. A Figura 6 sintetiza e exemplifica os tipos de técnicas compensatória, conforme a divisão supracitada.

**Figura 6 - Tipos de técnicas compensatórias.**



Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud, 2011, adaptado pelo autor

Caracterizadas como técnicas lineares, as trincheiras de infiltração são dispositivos com sistema de infiltração do tipo controle na fonte. A linearidade se dá devido à dimensão de comprimento ser substancialmente superior às de largura e profundidade. De Melo (2015) afirma que as trincheiras de infiltração podem ser implantadas em diversos locais devido à facilidade de integração da proposta de design com o ambiente em que são inseridas, cumprindo a função de amortecer volumes superficiais ao longo de superfícies impermeáveis.

Os jardins de chuva são descritos por Li *et al.* (2008) como estruturas hidrológicas funcionais de baixo custo e complexidade, tanto na implantação como na manutenção, que tem função adicional de compor a paisagem. Este tipo de dispositivo “purifica e absorve as águas pluviais de pequenas áreas, reduzindo o volume escoado e protegendo as águas subterrâneas” (MELO, *et al.*, 2014) por meio do sistema solo-planta-atmosfera através dos processos de infiltração, retenção e adsorção.

Incluído nas técnicas compensatórias, Santos *et al.* (2013) afirmam que existem dois tipos de telhados verdes: extensivos e intensivos. Os autores diferenciam os

telhados verdes basicamente na necessidade de intervenção após implementados. Os do tipo intensivo são aqueles que requerem maior profundidade de solo, irrigação e fertilização, em contraste àqueles denominados extensivos conhecidos por características mais próximas à autossustentabilidade, necessitando apenas um mínimo de manutenção.

Outro tipo de solução, ainda no contexto das técnicas compensatórias, são os pavimentos permeáveis. Esse tipo de estrutura é indicado principalmente para áreas urbanas altamente urbanizadas e densamente povoadas, onde a malha viária é composta majoritariamente por pavimentos impermeáveis, característica essa que majora o escoamento superficial. Com funcionamento através da retenção e infiltração, os pavimentos permeáveis são indicados principalmente para áreas com tráfego leve, apesar de apresentar resultados satisfatórios em áreas com tráfego significativo (CERTU 1998, apud TOMINAGA, 2013).

O Quadro 1 detalha as vantagens e desvantagens de cada técnica compensatória avaliada, dentre as supracitadas e outros tipos. O Quadro 2 elenca as vocações dos diferentes tipos de técnicas compensatórias e suas aplicabilidades conforme a área de drenagem proposta.

**Quadro 1 - Vantagens e limitações associadas a cada técnica compensatória.**

Técnica Compensatória	Vantagens	Limitações
<b>Trincheiras de infiltração e detenção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A infiltração possibilita uma redução do volume de escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem a jusante;</li> <li>• A detenção temporária proporciona um rearranjo temporal dos hidrogramas;</li> <li>• Criação de áreas permeáveis quando a estrutura é implantada em calçadas ou outras áreas impermeáveis;</li> <li>• Valorização do espaço urbano, destacando-se a pequena demanda por espaço desse tipo de estrutura;</li> <li>• Possibilidade de recarga do lençol freático e melhoria da qualidade da água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de manutenção periódica para o controle da colmatção;</li> <li>• Restrições de eficiência em áreas com declividades acentuadas, não havendo, entretanto, o impedimento do emprego nessas áreas;</li> <li>• Risco de contaminação das águas subterrâneas no caso de trincheiras de infiltração.</li> </ul>

Técnica Compensatória	Vantagens	Limitações
<b>Poços de infiltração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A infiltração possibilita uma redução do volume de escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem a jusante;</li> <li>• Integração com o meio ambiente urbano, pois ocupa pequenos espaços e é bastante discreto;</li> <li>• Boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração;</li> <li>• Possibilidade de recarga do lençol freático e melhoria da qualidade da água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrições de eficiência em áreas com declividades acentuadas, não havendo, entretanto, o impedimento do emprego nessas áreas;</li> <li>• Necessidade de manutenção periódica para o controle da colmatção;</li> <li>• Risco de contaminação das águas subterrâneas;</li> <li>• Baixa capacidade de armazenamento.</li> </ul>
<b>Valas vegetadas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução dos volumes do escoamento superficial pelos processos de evapotranspiração e infiltração;</li> <li>• Detenção temporária das águas, propiciando um rearranjo temporal dos hidrogramas;</li> <li>• Baixos custos de projeto e construção;</li> <li>• Valorização do espaço urbano contribuindo para o aumento de áreas verdes;</li> <li>• Melhoria da qualidade das águas pluviais e possibilidade de recarga do aquífero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrições de eficiência em áreas com declividades acentuadas, a declividade máxima deve ser de até 2%;</li> <li>• Necessidade de espaço para implantação;</li> <li>• Risco de contaminação das águas subterrâneas. É recomendado manter uma distância vertical de no mínimo um metro da zona saturada;</li> <li>• Possibilidade de estagnação das águas e proliferação de vetores e mau cheiro.</li> </ul>
<b>Pavimentos Permeáveis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detenção temporária das águas, propiciando um rearranjo temporal dos hidrogramas;</li> <li>• Possibilidade de recarga das águas subterrâneas, além da melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento;</li> <li>• Melhoria na segurança e conforto pela redução da formação de poças de água e consequente melhoria da aderência no viário;</li> <li>• Possibilidade de redução ou eliminação dos custos de implantação do sistema de drenagem tradicional;</li> <li>• Não requerem espaços específicos para implantação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de colmatção do pavimento;</li> <li>• Risco de contaminação das águas subterrâneas, nas estruturas infiltrantes;</li> <li>• Necessidade de mão-de-obra especializada para a construção do pavimento;</li> <li>• Necessidade de manutenção periódica para evitar o entupimento ou colmatção dos poros das camadas permeáveis;</li> <li>• Risco de colmatção prematura da estrutura porosa é alto;</li> <li>• Quando ocorre a colmatção da estrutura os reparos apresentam custos elevados.</li> </ul>

Técnica Compensatória	Vantagens	Limitações
<b>Telhados armazenadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detenção temporária das águas, propiciando um rearranjo temporal dos hidrogramas;</li> <li>• Redução dos volumes do escoamento superficial pelo processo de evapotranspiração;</li> <li>• Proporciona uma proteção térmica para as edificações, diminuindo desta forma o consumo de energia gasta para o aquecimento ou refrigeração de ambientes;</li> <li>• Apresenta ótima integração com projetos paisagísticos contribuindo para a melhora do aspecto de ambientes urbanos pela presença de áreas verdes;</li> <li>• Possibilidade de implantação em edificações já existentes, desde que sejam avaliadas as condições estruturais e de impermeabilização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de verificação da estabilidade estrutural, quando da implantação em telhados já existentes;</li> <li>• Dificuldade de utilização em telhados de elevada declividade;</li> <li>• Aumento da manutenção dos telhados, se comparado aos telhados tradicionais;</li> <li>• Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas;</li> <li>• O volume armazenado é limitado pelo tamanho (área) do telhado;</li> <li>• Na maior parte dos casos a implantação da estrutura é dependente de iniciativa privada.</li> </ul>
<b>Jardins de chuva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorização do espaço pela incorporação de plantas ao ambiente urbano;</li> <li>• Detenção temporária das águas, propiciando um rearranjo temporal dos hidrogramas;</li> <li>• Melhoria da qualidade das águas pluviais pela retenção de sedimentos finos e poluentes associados;</li> <li>• Possibilidade de recarga das águas subterrâneas;</li> <li>• Possibilidade de aplicação em áreas densamente impermeabilizadas, como estacionamentos e calçadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibilidade de utilização para grandes áreas de contribuição;</li> <li>• Necessidade de um espaço para implantação, geralmente, 5% da área de contribuição;</li> <li>• Suscetível a colmatagem, necessitando de pré-tratamento em casos onde o aporte de sedimentos é grande;</li> <li>• O custo de construção é comumente maior que outras medidas de controle.</li> </ul>
<b>Microreservatórios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de utilização do volume de água armazenado para outros fins, como: proteção contra fogo, irrigação de jardins, processos industriais, refrigeração, entre outros;</li> <li>• Armazenamento do escoamento superficial direto, o que contribui para o amortecimento do pico de cheia, aliviando o sistema de drenagem a jusante;</li> <li>• Ocupação de áreas mínimas no caso de reservatórios enterrados, por outro lado ocorre a redução do espaço disponível do subsolo para outros usos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de manutenção, no caso de reservatórios fechados deve-se atentar para a restrição do acesso;</li> <li>• Custos relativamente altos de instalação no caso de reservatórios enterrados. O custo pode ser restritivo, se o reservatório receber água de grandes áreas de drenagem.</li> </ul>

Fonte: Tominaga, 2013, adaptado pelo autor

Quadro 2 - Vocação e possibilidade das técnicas compensatórias.

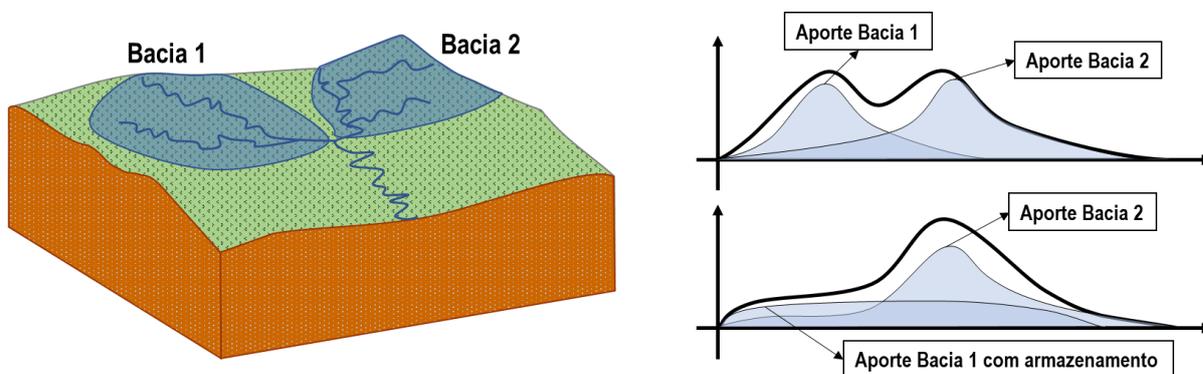
Técnica	Área de drenagem controlada	Controle de vazão de pico			Controle de volumes	Recarga do lençol	Reuso direto	Controle de erosão a jusante
		TR Pequenos (até 5 anos)	TR Médios (até 30 anos)	TR Grandes (até 100 anos)				
Bacias de detenção/retenção	Grande (>16 ha)	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de detenção	Pequena - média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena - média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena - média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena - média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheiras de detenção	Pequena (<4 ha)	P	V	N	N	N	N	V
Trincheiras de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

Legenda: P - adaptada; V - pode ser adaptada; N: pouco adaptada ou até mesmo impossível

Fonte: Baptista *et al.*, 2011, adaptado pelo autor

Baptista, Nascimento e Barraud (2011), ao frisarem a importância de analisar globalmente para agir localmente, lembram que “qualquer ação local sobre o ciclo da água tem um impacto global mais ou menos significativo”. O retardamento do pico de uma bacia pode inclusive gerar vazões mais significativas do que aquelas no cenário sem aplicação das ações, como é ilustrado na Figura 7. Os autores frisam a necessidade de um estudo global do funcionamento do conjunto da bacia hidrográfica, no que tange a distribuição difusa no tecido urbano, apesar de reconhecerem a dificuldade do controle desse tipo de obra, visto que frequentemente se situam em parcelas privadas, ou seja, tem seu bom funcionamento atrelado às iniciativas de manutenção realizadas pelos proprietários.

**Figura 7 - Risco de aumento das cheias a jusante em implantação não coordenada de técnicas compensatórias.**



Fonte: Adaptado de Chocat *et al.*, 1997 apud Baptista, Nascimento e Barraud, 2011

No contexto da multidisciplinariedade das técnicas compensatórias, Fletcher *et al.* (2015) afirmam que houve um crescimento expressivo no uso da terminologia drenagem urbana na literatura, sendo esse crescimento uma evidência clara de um aumento no interesse da sociedade na gestão de águas pluviais urbanas nas últimas décadas. Ainda de acordo com o autor, esse fato também demonstra a natureza cada vez mais integrada da drenagem urbana como uma disciplina, historicamente parte da engenharia civil, com um foco crescente na ecologia das águas receptoras, refletindo no envolvimento de uma gama mais ampla de áreas diversas, como arquitetura, paisagismo, ecologia e ciências sociais. As técnicas compensatórias, nesse sentido, atuam de forma multidisciplinar e atendem os anseios de tais áreas correlatas.

Apesar de não existir uma base regulamentar específica no Brasil, nas esferas federal, estadual e municipal da legislação brasileira existem instrumentos legais que podem direcionar ao uso desses dispositivos com a finalidade de controle de

escoamentos e poluição, bem como o impacto destes nos meios receptores. Dentre estes instrumentos podem ser citados o plano diretor, zoneamento, parcelamento, na esfera municipal e a Política Nacional de Recursos Hídricos na esfera federal – Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), os quais, embora não preconizem soluções técnicas particulares, conduzem indiretamente ao emprego de técnicas compensatórias para que sejam atendidos os requisitos e proibições. Um exemplo seria a adoção de restrição de vazão para a vazão natural da bacia ou a não excedência da capacidade de sistemas existentes para um dado tempo de retorno, condições que, dados os impactos significativos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, apenas se viabilizam com a adoção de soluções compensatórias de drenagem pluvial. (BAPTISTA, NASCIMENTO; BARRAUD, 2011)

### 3.7 Precipitação de projeto

Para definir a precipitação de projeto é necessário primeiramente definir o tempo de concentração, ou seja, o tempo, a partir do instante do início da precipitação, necessário para que água no ponto mais extremo da bacia, desloque-se até o exultório ou seção de interesse (TUCCI, 2007). De acordo com o autor, uma das formas mais usuais de calcular este tempo é através do método de Kirpich (1).

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (1)$$

Em que: tempo de concentração -  $t_c$  em minutos, comprimento do talvegue principal  $L$  - em quilômetros, desnível -  $H$  em metros.

O período de retorno ou tempo de recorrência ( $T_r$ ) é o inverso da probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico ser igualado ou superado. De acordo com Righetto (1998), sua definição é crucial para o dimensionamento e avaliação de projetos de sistemas hídricos. Lins (2019) lembra que na engenharia, “a segurança e a durabilidade de uma estrutura hídrica, frequentemente se associam ao tempo ou período de recorrência” e Tominaga (2013) explica que a escolha do tempo de recorrência representa “a escolha ou o grau de proteção, de uma obra, conferido a uma parcela da população, ou seja o ‘risco hidrológico aceitável’ pela comunidade”. A Tabela 1 relaciona os diferentes dispositivos de drenagem e período de retorno recomendado para projeto.

**Tabela 1 - Tempo de recorrência por dispositivo de drenagem.**

<b>Tipo de Dispositivo de Drenagem</b>	<b>Tempo de Recorrência Tr (anos)</b>
Microdrenagem - dispositivos de drenagem superficial, galerias de águas pluviais	10
Aproveitamento de rede existente - microdrenagem	5
Canais de macrodrenagem não revestidos	10
Canais de macrodrenagem revestidos, com verificação para Tr = 50 anos, sem considerar borda livre	25

Fonte: Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana – RIO ÁGUAS, 2010.

Definido o período de retorno, e no âmbito do cálculo da precipitação de projeto, é necessário conhecer três grandezas fundamentais: intensidade, duração e frequência. A relação entre essas variáveis, a partir de um período de análise suficientemente longo, resulta em “uma família de curvas intensidade-duração, uma para cada frequência, ou período de retorno” (DE CASTRO; SILVA; SILVEIRA, 2011), sendo essas curvas denominadas curvas intensidade-duração-frequência (IDF).

A equação (2) apresenta o formato genérico utilizado para relacionar intensidade, duração e frequência (TUCCI, 2007), onde é encontrada a intensidade ( $i$ ), usualmente expressa em mm/h, a partir do tempo de retorno ( $Tr$ ), em anos, e duração da chuva ( $t$ ), em minutos. Os coeficientes “a”, “b”, “c” e “d” se referem a parâmetros locais, de forma que cada região apresenta uma curva IDF característica.

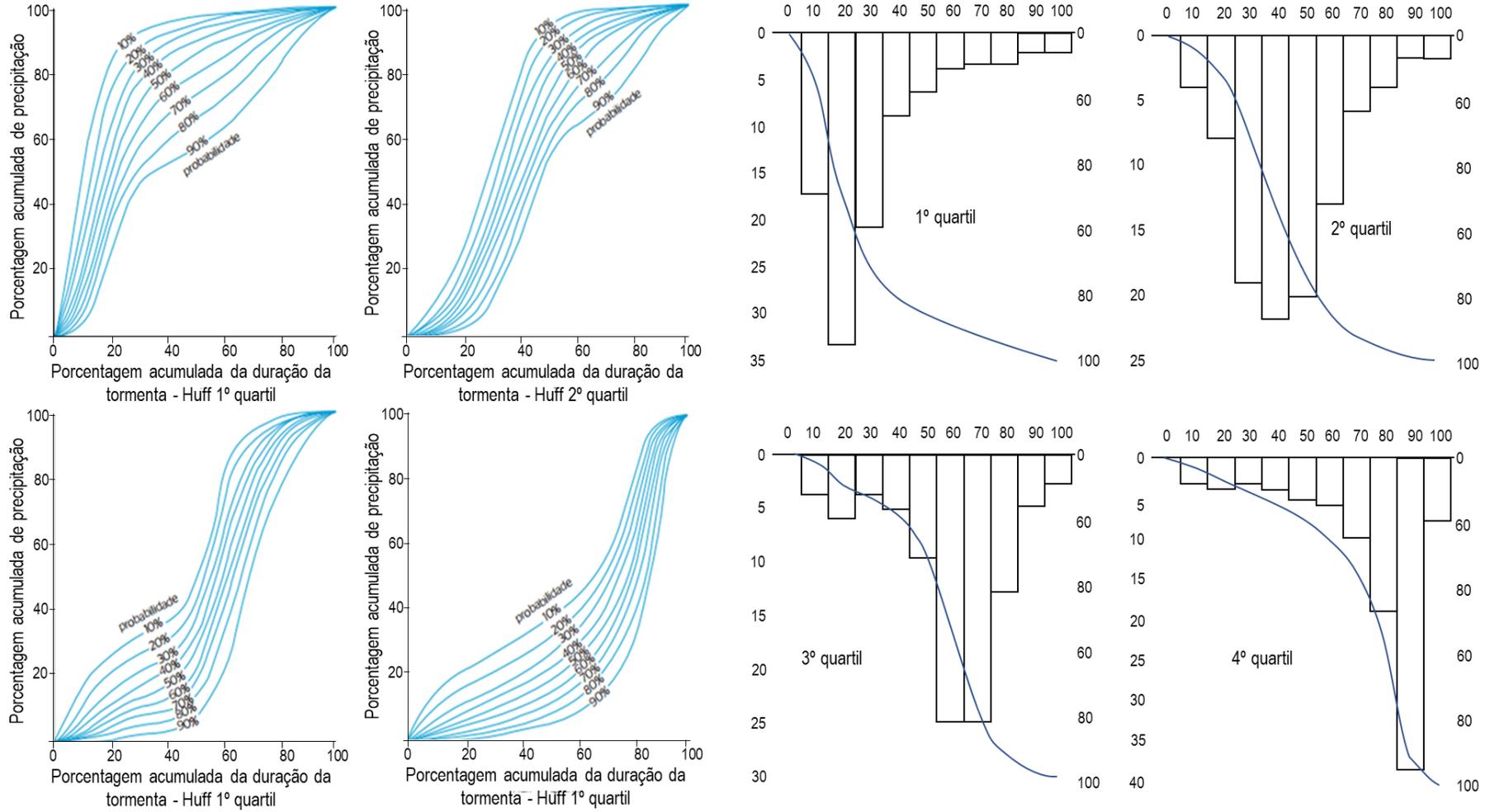
$$i = \frac{a \times Tr^b}{(t+c)^d} \quad (2)$$

Obtida a curva IDF da região, a distribuição da precipitação ao longo do tempo também é um fator importante a ser detalhado. De acordo com Cruciani, Machado e Sentelhas (2002) sua definição é “imprescindível para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados” por chuvas intensas. Os autores exaltam a capacidade de prever da forma mais real e fiel possível as consequências da ocorrência de eventos extremos como desafio a ser vencido pela engenharia. Nesse sentido, Monteiro e Kobiyama (2014) ressaltam que “a variação temporal detalhada se torna ainda mais importante quanto menor for o tempo de concentração da bacia e o detalhamento desta variação não existe em grande parte dos bancos de dados de precipitação do Brasil”.

Uma forma de determinar a variação temporal de um evento de precipitação é através do método de Huff. De acordo com Canholi (2014), Huff (1967) desenvolveu, para a região Centro-Leste do Estado de Illinois (EUA) em 1967, quatro distribuições temporais para chuvas intensas de duração superior a três horas. A área de estudo era composta por uma rede de 49 postos pluviográficos distribuídos por cerca de 100 km<sup>2</sup>, sendo analisados os registros de 11 anos.

De acordo com o autor, os resultados de tal estudo possibilitaram a divisão dos registros históricos de chuvas em quatro quartis, variando de acordo com a ocorrência do pico de intensidade, como pode ser observado na Figura 8, sendo classificadas no primeiro quartil as precipitações intensas de curta duração, geralmente objeto de interesse para projetos de drenagem urbana.

Figura 8 - Distribuição de Huff.



Fonte: HUFF (1967 apud ABREU, SOBRINHA e BRANDÃO, 2017). Adaptado pelo autor.

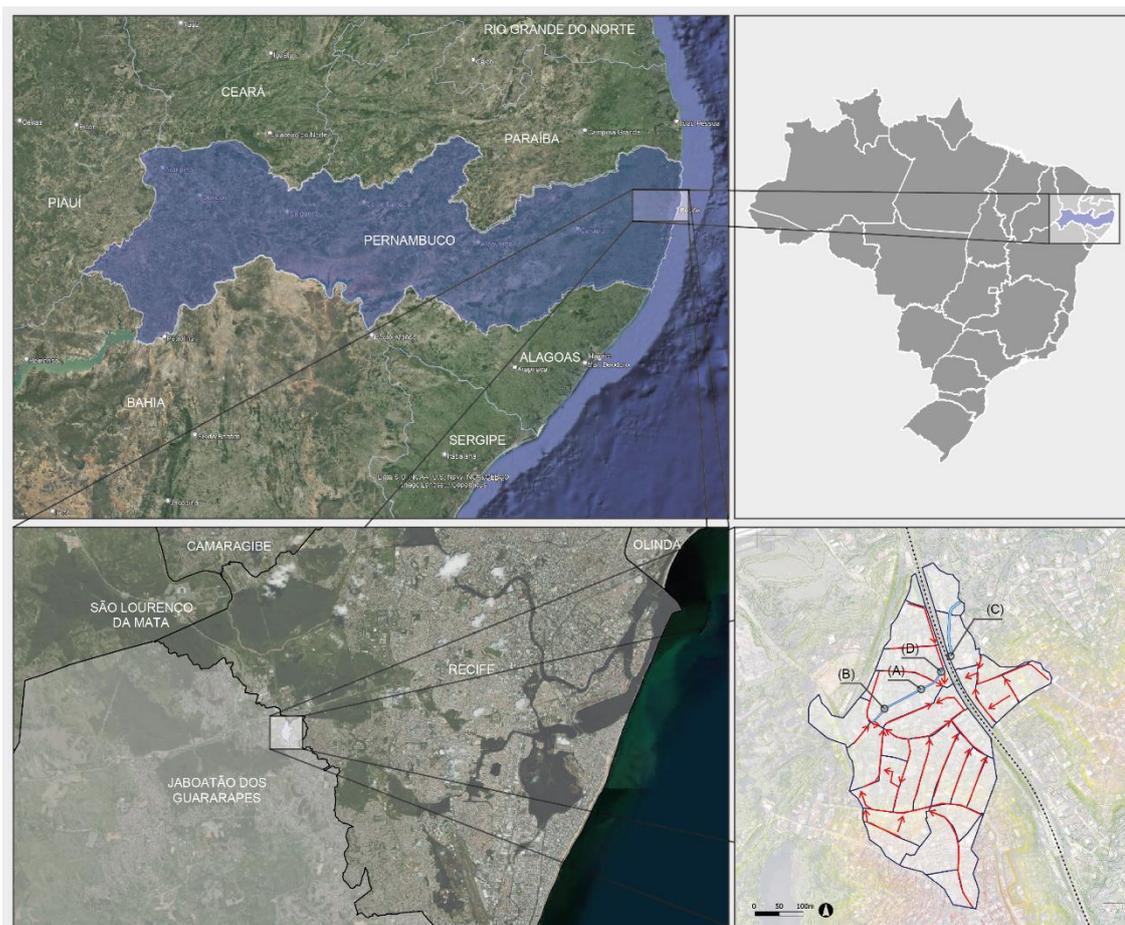
## 4 METODOLOGIA

A seguir será detalhada a metodologia utilizada para desenvolver este estudo, partindo da caracterização da área de estudo até a definição de parâmetros de modelagem.

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo se refere à bacia de drenagem do canal Colina, localizado no bairro Alto da Colina, no município de Jaboatão dos Guararapes. Tem início nas coordenadas UTM 282.150 E, 9.106.172 N (SIRGAS 25S) e foz no Rio Teijipió. Encontra-se inserido em uma área de intensa urbanização, densamente povoada. Apresenta seção definida apenas em certos trechos, visto que habitações construídas irregularmente em suas margens ou até mesmo sobre seu curso estrangulam sua seção. Na Figura 9 é possível observar localização espacial do canal Colina e na Figura 10, a configuração da ocupação que atualmente penaliza o escoamento.

**Figura 9 - Localização do canal Colina.**



Fonte: O autor (2021).

**Figura 10 - Obstruções identificadas em trechos do canal Colina.**

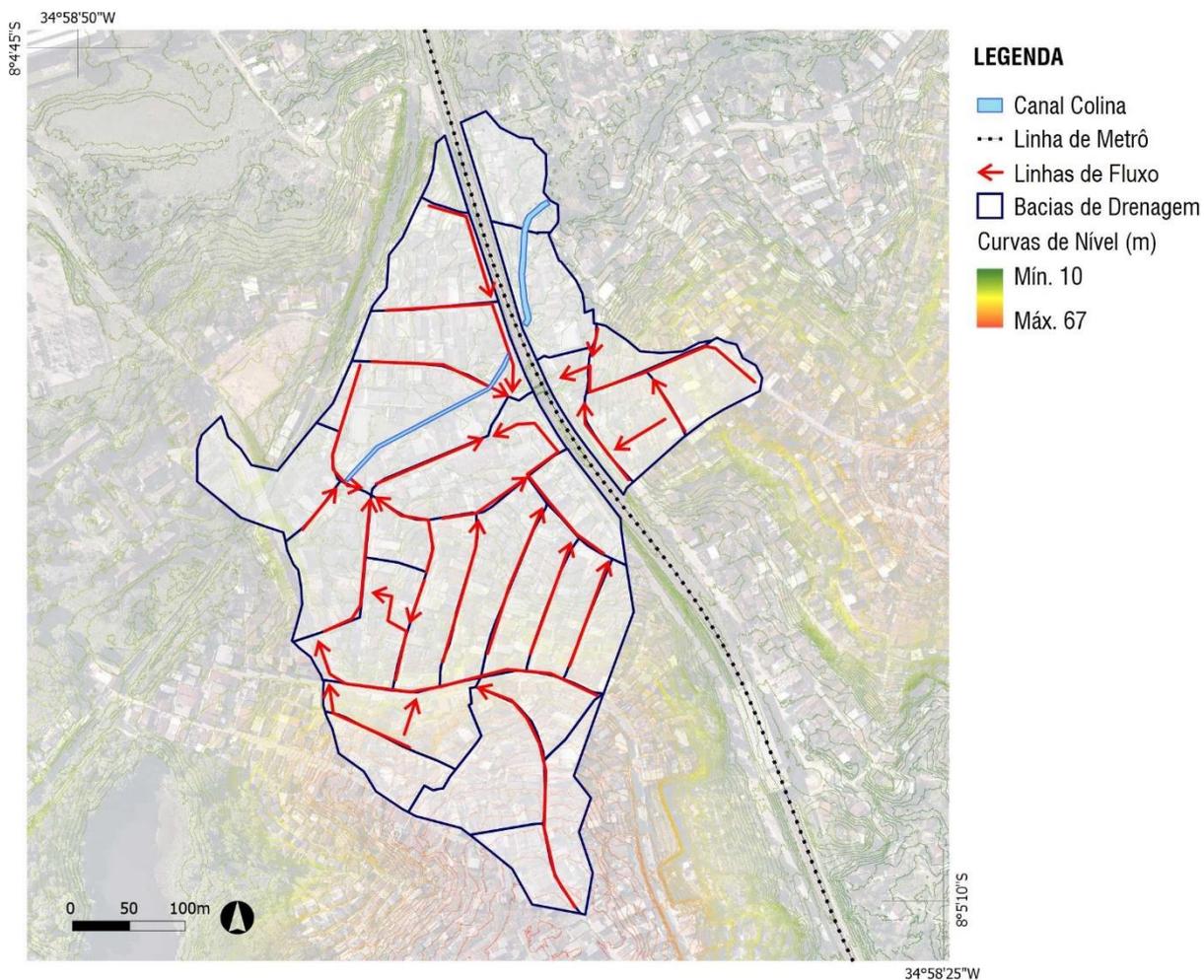


(A) Bueiro sob residência no leito do canal (B) Residência parcialmente sobre o leito do canal  
 (C) Trecho a jusante da travessia do metrô (D) Trecho a montante da travessia do metrô  
 Trechos em planta identificados na Figura 9  
 Fonte: O autor (2021).

O canal Colina é de origem natural, contudo, devido à condição de ocupação marginal e à falta de saneamento na região, o canal recebe contribuições das águas servidas e resíduos sólidos das residências inseridas na bacia de drenagem, fato este que contribui para a proliferação de vetores responsáveis por doenças de veiculação hídrica.

A delimitação da área da bacia hidrográfica do canal Colina foi feita através da análise da drenagem natural do terreno, que por sua vez foi obtida a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT), disponibilizado pela Prefeitura Municipal do Jaboatão dos Guararapes (PMJG). A análise resultou em uma área de 15,4 hectares, que pode ser visualizada na Figura 11.

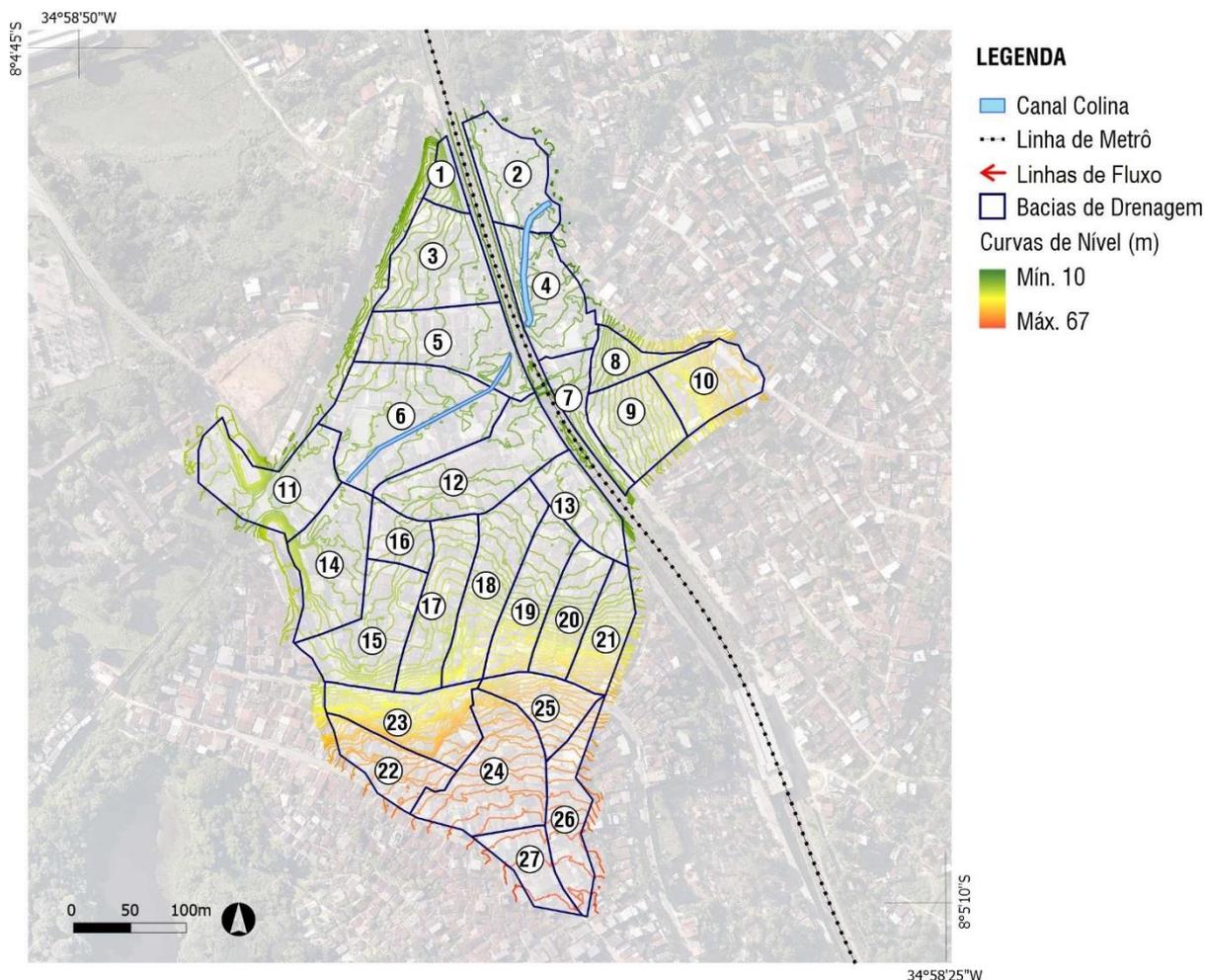
Figura 11 - Delimitação da bacia do canal Colina.



Fonte: O autor (2021).

Uma vez delimitada, a bacia do canal foi dividida em 27 sub-bacias, de forma a melhor discretizar o escoamento superficial gerado. É possível visualizar tais dados trabalhados na Figura 12.

Figura 12 - Sub-bacias do canal Colina.



Fonte: O autor (2021).

A Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes (PMJG) disponibilizou também ortofotos e base cartográfica contendo informações de domicílios, arruamentos, meio-fio, pavimentação, instituições públicas, e demais dados tipicamente levantados em bancos de dados, para a região compreendida pela área de estudo desta modelagem.

De posse de tais informações, foi possível descrever e extrair, através de geoprocessamento no software ArcGIS, as áreas relativas ao tipo de ocupação do solo em cada sub-bacia modelada. Para tanto, foram utilizados os comandos “*Split*” para segregar as informações de acordo com o limite das sub-bacias, “*Merge*” para união em um único “*shapefile*” informações do mesmo tipo, “*Join*” pela localização espacial para identificar a sub-bacia em que tais informações estão inseridas, “*Dissolve*” para condensar múltiplas feições de uma mesma informação em uma única

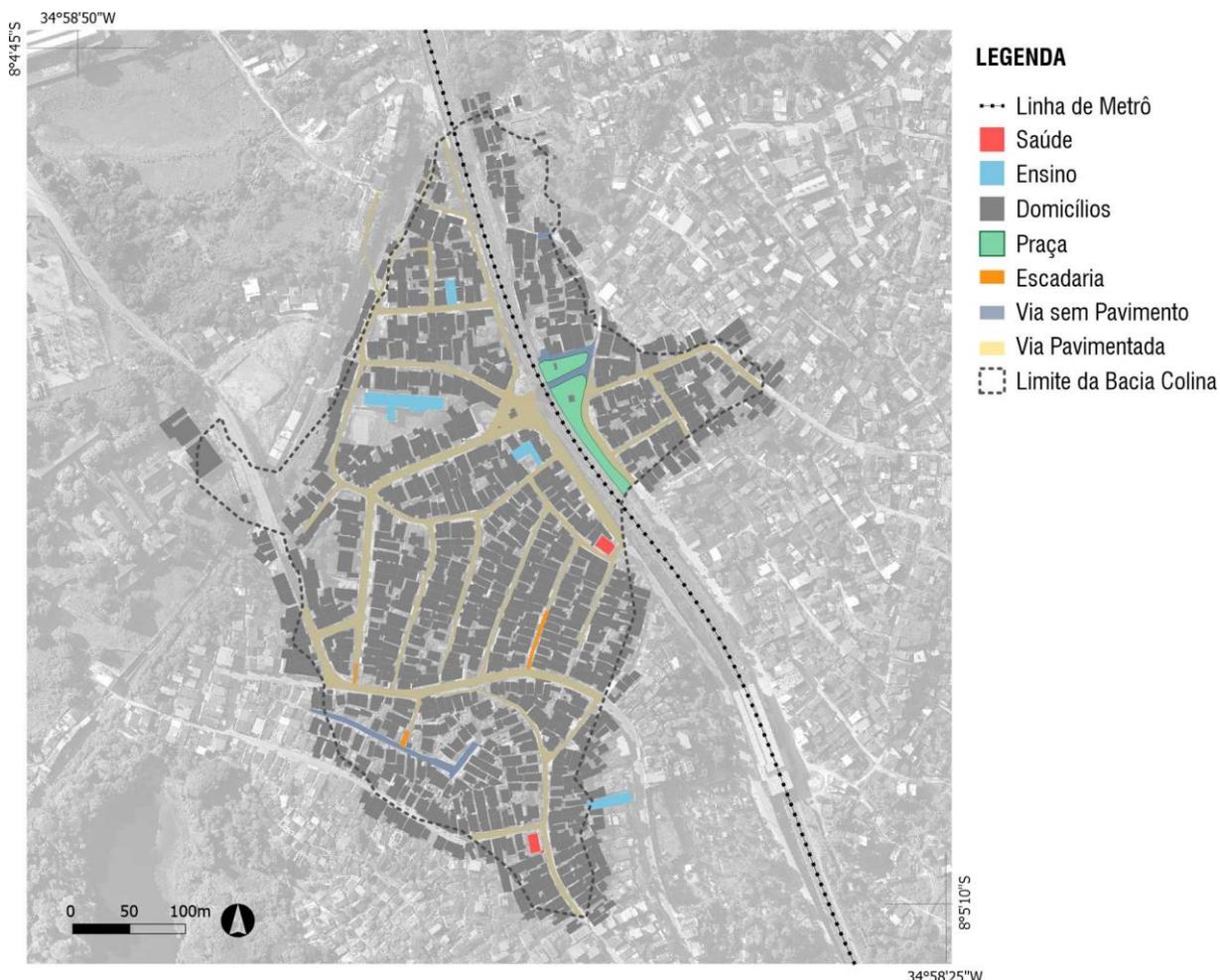
feição. Tais dados trabalhados podem ser visualizados espacialmente na Figura 13 e discretizados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Composição da área das sub-bacias do canal Colina.**

SUB-BACIA	ÁREA	VIA PAVIMENTADA	VIA SEM PAVIMENTO	DOMICÍLIOS	ENSINO	ESCADARIAS	PRAÇA	SAÚDE
(-)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
01	1419.72	215.82	00.00	281.61	00.00	00.00	00.00	00.00
02	5627.33	00.00	00.00	1776.34	00.00	00.00	00.00	00.00
03	7189.87	979.44	00.00	3924.90	183.55	00.00	00.00	00.00
04	6470.63	00.00	181.57	3757.70	00.00	00.00	00.00	00.00
05	8012.29	1244.56	00.00	3926.69	00.00	00.00	00.00	00.00
06	12568.39	1191.48	00.00	5378.84	903.25	00.00	00.00	00.00
07	2940.28	387.80	408.04	48.38	00.00	00.00	1537.07	00.00
08	2382.43	309.95	10.19	1480.49	00.00	00.00	00.00	00.00
09	5376.15	203.29	00.00	3155.56	00.00	00.00	00.00	00.00
10	4883.23	631.31	00.00	2579.92	00.00	00.00	00.00	00.00
11	7786.53	658.61	00.00	1735.22	00.00	00.00	00.00	00.00
12	9056.32	2185.27	00.00	4492.22	267.86	00.00	00.00	00.00
13	4101.10	1178.56	00.00	1567.95	00.00	00.00	00.00	164.38
14	7113.66	893.92	00.00	3190.23	00.00	00.00	00.00	00.00
15	7050.94	1219.03	00.00	3930.95	00.00	20.19	00.00	00.00
16	2634.87	343.04	00.00	1347.24	00.00	00.00	00.00	00.00
17	6141.46	707.43	00.00	3816.65	00.00	00.00	00.00	00.00
18	7245.26	769.31	00.00	4646.91	00.00	00.00	00.00	00.00
19	5530.17	583.81	00.00	3712.33	00.00	44.17	00.00	00.00
20	4455.27	412.43	00.00	2957.31	00.00	45.16	00.00	00.00
21	3862.59	241.85	00.00	2473.44	00.00	00.00	00.00	00.00
22	4245.98	00.00	276.99	2201.76	00.00	00.00	00.00	00.00
23	6689.41	648.71	330.72	2958.73	00.00	39.45	00.00	00.00
24	9076.86	445.99	01.48	5281.97	00.00	00.00	00.00	00.00
25	3863.51	642.94	00.00	2205.61	00.00	00.00	00.00	00.00
26	5018.74	385.56	00.00	3493.46	24.54	00.00	00.00	00.00
27	3231.84	440.57	00.00	1802.38	00.00	00.00	00.00	156.98

Fonte: O autor (2021).

**Figura 13 - Composição da área da bacia do canal Colina.**



Fonte: O autor (2021).

## 4.2 Curva número

A Curva Número (CN) foi calculada para cada sub-bacia utilizando uma média ponderada dos valores observados na Tabela 6 para o grupo hidrológico C. Como a modelagem desconsidera áreas impermeáveis (CN=98), a área relativa às vias pavimentadas não foi considerada neste cálculo. Foram considerados os valores para espaços abertos, parques e jardins em condições boas (CN=74) e médias (CN=79), domicílios (CN=90), comercial (CN=94), e ruas e estradas de terra (CN=87). Os resultados de cada sub-bacia para entrada no software SWMM e podem ser observados no item 4.8.

## 4.3 Tempo de recorrência

O tempo de recorrência será adotado conforme a Tabela 1 para canais de macrodrenagem revestidos. É recomendada a adoção do tempo de 25 anos e

verificação para 50 anos (RIO ÁGUAS, 2010). Com isso, o tempo de recorrência adotado na modelagem será de 50 anos.

#### 4.4 Tempo de duração da chuva

Serão adotadas as durações de 30, 60 e 120 minutos na modelagem. Os tempos foram adotados para permitir a avaliação do volume de precipitação no efeito das técnicas compensatórias para as diferentes durações. A bacia do canal Colina tem aproximadamente 15,4 hectares. O tempo de concentração calculado por Kirpich, apresentado equação (1), ao se considerar uma extensão de 0,70 quilômetros de extensão de drenagem e um desnível de 50 metros resulta em 8,37 minutos, sendo este o tempo necessário para que a seção de interesse receba a contribuição dos pontos mais extremos da bacia.

#### 4.5 Intensidade da chuva de projeto

Coutinho *et al.* (2013) apresentam a equação de chuva elaborada para a Região Metropolitana do Recife pela Acqua-Plan, em 1980. Deve-se adotar o valor máximo entre  $i_1$  e  $i_2$ , que podem ser observados nas equações (3) e (4). Para as durações a serem estudadas nesta modelagem

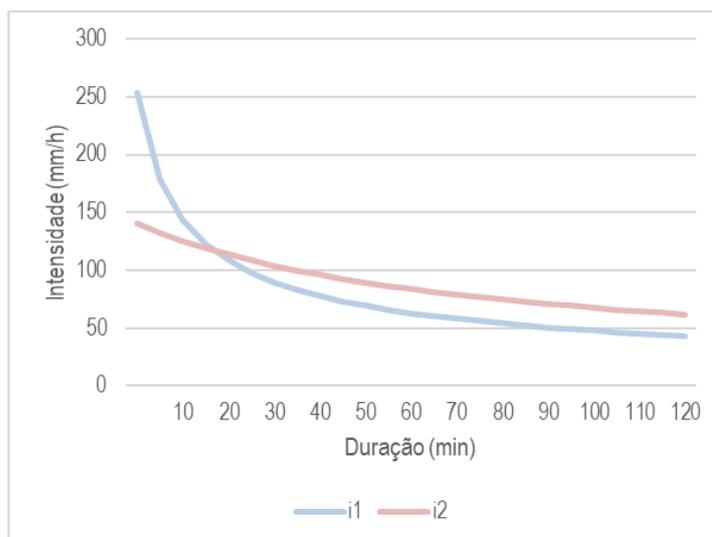
$$i_1 = \frac{456,768 \times (T - 1,5)^{0,117} \times (1 - 4,54 \times 10^{-21} \times t^8)}{(t + 6)^{0,5811}} \quad (3)$$

$$i_2 = \frac{72,153 \times (T - 1,75)^{0,173}}{(t + 1)^{0,74926}} \quad (4)$$

Sendo T o tempo de retorno em anos, t a duração da precipitação em minutos e i a intensidade de precipitação em mm/h

Para os intervalos de duração adotados na modelagem, e como é visível na Figura 14, são encontrados maiores valores de intensidade para a curva denominada por  $i_2$ . Para o tempo de retorno de 50 anos, e para as durações de 30, 60 e 120 minutos foram encontradas intensidades de 104,13 mm/h, 83,94 mm/h e 61,95 mm/h, respectivamente.

**Figura 14 - Curvas IDF  $i_1$  e  $i_2$  para Tempo de Retorno de 50 anos na RMR**



Fonte: O autor (2021).

#### 4.6 Distribuição temporal da chuva

Conforme descrita no item 3.7, a distribuição de Huff para o primeiro quartil consiste em uma maior probabilidade de concentração das chuvas nos primeiros instantes da precipitação. A distribuição da precipitação acumulada ao longo do tempo, com 50% de probabilidade de excedência, pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3 - Distribuição de Huff – 1º quartil, 50% de probabilidade de excedência.**

t (%)	P %
0.00	0.00
10.00	17.80
20.00	50.00
30.00	70.50
40.00	79.70
50.00	85.50
60.00	89.80
70.00	93.00
80.00	95.80
90.00	98.30
100.00	100.00

Fonte: Abreu, Sobrinha e Brandão, 2017. Adaptado pelo autor.

Para o período de retorno de 50 anos, e a duração da precipitação de 30, 60 e 120 minutos, a Tabela 4 explicita os valores de precipitação a serem adotados em cada modelagem.

**Tabela 4 - Precipitação para 30, 60 e 120 minutos de duração (TR 50 anos).**

Duração	Precipitação acum.	Precipitação	Duração	Precipitação acum.	Precipitação	Duração	Precipitação acum.	Precipitação
t(min)	(mm)	(mm)	t(min)	(mm)	(mm)	t(min)	(mm)	(mm)
0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
3.0	9.27	9.27	6.0	14.94	14.94	12.0	22.05	22.05
6.0	26.03	16.76	12.0	41.97	27.03	24.0	61.95	39.89
9.0	36.70	10.67	18.0	59.18	17.21	36.0	87.34	25.40
12.0	41.49	4.79	24.0	66.90	7.72	48.0	98.74	11.40
15.0	44.51	3.02	30.0	71.77	4.87	60.0	105.93	7.19
18.0	46.75	2.24	36.0	75.37	3.61	72.0	111.25	5.33
21.0	48.42	1.67	42.0	78.06	2.69	84.0	115.22	3.96
24.0	49.88	1.46	48.0	80.41	2.35	96.0	118.69	3.47
27.0	51.18	1.30	54.0	82.51	2.10	108.0	121.79	3.10
30.0	52.06	0.89	60.0	83.94	1.43	120.0	123.89	2.11

Fonte: O autor (2021).

#### 4.7 Modelagem matemática no SWMM

O SWMM (Storm Water Management Model), que pode ser traduzido como Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, é um software que simula a quantidade e qualidade do escoamento superficial através de uma modelagem dinâmica precipitação-vazão, suportando eventos contínuos ou eventos isolados. De acordo com o Manual do Usuário do SWMM 5.0 (ROSSMAN, 2012) o módulo de transporte hidráulico do SWMM “acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia” através de uma simulação do percurso das águas através de sistemas compostos por “tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e elementos de regulação”, permitindo a adoção de diversos tipos de geometria para os condutos, tanto abertos como fechados, bem como permitindo a modelagem de canais naturais.

A simulação traz como resultado informações de vazão, altura de escoamento e qualidade da água cada trecho de seção modelado, durante múltiplos intervalos de tempo. Devido aos recursos e potenciais resultados, o software é utilizado a nível global, principalmente para análise e planejamento de sistemas de drenagem de águas pluviais (unitários, separador absoluto ou com carga mista).

Ainda de acordo com o manual, o SWMM tradicionalmente considera os processos hidrológicos de precipitações variáveis no tempo; evaporação de águas empoçadas; acumulação e degelo da neve; interceptação de precipitações por armazenamento em depressões; infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas; percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos; troca de

fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem; e modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares.

Na versão 5.0 do software foram incluídos recursos para simular o uso de técnicas compensatórias. A partir desta versão, o modelo é capaz de modelar os processos dos seguintes tipos de medidas de controle na fonte: trincheiras de infiltração; pavimentos porosos; células de biorretenção (jardins de chuva e telhados verdes, por exemplo); barris de chuva (cisternas ou microrreservatórios, por exemplo); e valas vegetadas.

A Figura 15 ilustra a visão conceitual do escoamento superficial utilizado pelo software SWMM, onde a contribuição das precipitações é recebida em cada sub-bacia, esta última tratada como um reservatório não linear com capacidade igual ao armazenamento em depressões, representado por “d<sub>p</sub>”. Na figura são explicitados os fluxos de saída: infiltração, evaporação e escoamento superficial, representado por “Q”. O escoamento superficial é calculado pela equação de Manning, equação (5), que, associada à fórmula da continuidade, resulta na equação (6). A variável “d”, referente à lâmina de água no reservatório, é recalculada mediante a resolução numérica do balanço hídrico na sub-bacia de forma contínua, no tempo.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$Q = \frac{R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}} * A}{n} \quad (6)$$

Q = vazão, em m<sup>3</sup>/s;

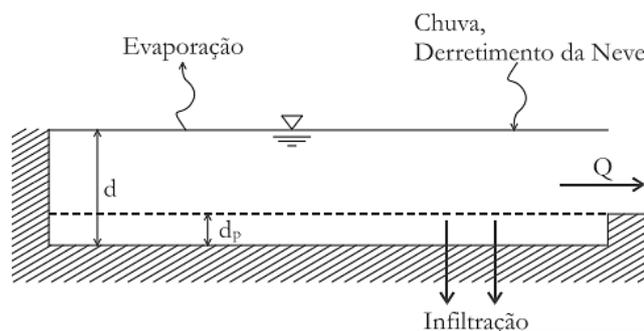
R = Raio hidráulico da seção transversal, adimensional;

J = declividade, em m/m;

A = Área da seção transversal, em m<sup>2</sup>; e

n = coeficiente de rugosidade de Manning.

**Figura 15 - Visão conceitual do fenômeno do escoamento no SWMM.**



Fonte: Rossman, 2012.

Para a escolha do coeficiente de Manning, Porto (1998) e Cirilo *et al.* (2001) elencam uma variedade de valores diferenciados pela natureza das paredes do corpo d'água e pela condição do revestimento. Tais valores são observados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Tabela de rugosidades de Manning.**

Natureza das paredes	Condições			
	Muito Boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais com fundo em terra e talude com pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais com leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento em concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Conduto de pranchas de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido com alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual ao anterior, porém c/pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espraiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espraiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: PORTO (1998) e CIRILO, COELHO e BATISTA (2001). Adaptado pelo autor.

No que tange infiltração, fenômeno pelo qual a zona não saturada do solo da área permeável de sub-bacia recebe água proveniente de precipitações, o SWMM permite selecionar três modelos de infiltração: Equação de Horton, Método Green-Ampt e Método SCS.

A Equação de Horton (7), que se baseia em observações empíricas, tem como parâmetros necessários de entrada as capacidades de infiltração inicial ( $f_0$ ) e final ( $f_c$ ) e uma constante que varia segundo o tipo de solo ( $k$ ).

$$f = f_0 + (f_0 - f_c) \times e^{-k \times t} \quad (7)$$

O Método Green-Ampt considera uma frente de molhamento ou umedecimento da coluna de solo, separando camadas de solo já saturadas, na parte superior, daquelas com umidade inicial. A equação (8) exemplifica o método, onde “ $F(t)$ ” representa, em milímetros, a profundidade atingida pela frente desde o início do processo, enquanto “ $L$ ” representa a profundidade da frente de molhamento,  $\alpha$  a porosidade do solo e  $\theta$  o conteúdo de umidade no início do processo. Com uma aproximação por diferenças finitas da Lei de Darcy, a equação (8) pode ser reescrita no formato da (9), onde  $\Psi$  representa o potencial mátrico, em milímetros;  $K$  a condutividade hidráulica, em milímetros por hora; e  $\Delta\theta$  o déficit inicial de umidade do solo em relação à saturação.

$$F_{(t)} = L \times (\alpha - \theta) = L \times \Delta\theta \quad (8)$$

$$F_{(t)} - \Psi \times \Delta\theta \times \ln \left( 1 + \frac{F_{(t)}}{\Psi \times \Delta\theta} \right) = K \times t \quad (9)$$

Desenvolvido pelo National Resources Conservatoin Center dos EUA (antigo Soil Conservation Service – SCS), e visando correlacionar a capacidade de armazenamento de uma bacia a um índice denominado de curva número (CN), o método do SCS utiliza parâmetros de classificação hidrológica e de cobertura dos solos, estabelecendo uma relação empírica através da análise de mais de 3 mil tipos de solos e coberturas de vegetação e plantações com valores menores ou iguais a 100, número que representa armazenamento nulo. A equação (10) explicita a correlação entre o armazenamento máximo ( $S_d$ ), em milímetros, para o CN estimado para uma região e a equação (11) apresenta a precipitação efetiva ( $P_E$ ), definida pela precipitação total ( $P$ ) e armazenamento máximo ( $S_d$ ).

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

$$P_E = \frac{(P - 0,2S_D)}{P + 0,8S_D}, P > 0, 2S_D \quad (11)$$

O Quadro 3 apresenta a descrição dos grupos hidrológicos dos solos, o Quadro 4 apresenta a descrição das condições de umidade do solo e a Tabela 6 apresenta os valores de CN de acordo com as condicionantes anteriores e a tipologia do uso do solo. Em caso de solos com diferentes tipologias de uso, deve-se obter a média ponderada de tais CN's. Para as condições I e III, pode-se calcular CN de através das equações (12) e (13).

$$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058 CN(II)} \quad (12)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 - 0,13 CN(II)} \quad (13)$$

**Quadro 3 - Descrição dos grupos hidrológicos – Método SCS.**

Grupo Hidrológico	Descrição
Grupo A	Solos arenosos, com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%
Grupo B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial
Grupo C	Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade
Grupo D	Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados

Fonte: NUNES, FIORI e FIRPO (2011)

**Quadro 4 - Descrição das condições de umidade – Método SCS.**

Condição de Umidade	Descrição
Condição I	Solo seco. Precipitação acumulada em cinco dias menor que 15 mm
Condição II	Solo medianamente úmido. Precipitação acumulada em cinco dias entre 15 e 40 mm.
Condição III	Solo úmido (próximo da saturação). Chuva acumulada em cinco dias superior a 40 mm

Fonte: NUNES, FIORI e FIRPO (2011)

Tabela 6 - Valores de CN - Condições hidrológicas II.

Tipologia do Uso do Solo		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
<b>Uso residencial</b>					
<b>Tamanho médio do lote impermeável</b>		%			
	Até 500m <sup>2</sup>	65	77	85	90
	Até 1.000m <sup>2</sup>	38	61	75	83
	Até 1.500m <sup>2</sup>	30	57	72	81
	Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98
<b>Ruas e estradas</b>					
	Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98
	Com cascalho		76	85	89
	De terra		72	82	87
<b>Áreas comerciais (85% de impermeabilização)</b>			89	92	94
<b>Distritos industriais (72% de impermeabilização)</b>			81	88	91
<b>Espaços abertos, parques e jardins</b>					
	Boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74
	Condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79
<b>Terreno preparado para plantio, descoberto</b>					
	Plantio em linha reta		77	86	91
	Cultura em fileira, linha reta, condições ruins		72	81	88
	Linha reta, boas condições		67	78	85
	Curva de nível, condições ruins		70	79	84
	Curva de nível, boas condições		65	75	82
<b>Cultura de grãos</b>					
	Linha reta, condições ruins		65	76	84
	Linha reta, boas condições		63	75	83
	Curva de nível, condições ruins		63	74	82
	Curva de nível, boas condições		61	73	81
<b>Pasto</b>					
	Condições ruins		68	79	86
	Médias condições		49	69	79
	Boas condições		39	61	74
<b>Curva de Nível</b>					
	Condições ruins		47	67	81
	Médias condições		25	59	75
	Boas condições		6	35	70
<b>Campos boas condições</b>			30	58	71
<b>Florestas</b>					
	Condições ruins		45	66	77
	Médias condições		36	60	73
	Boas condições		25	55	70

Fonte: Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana - (RIO ÁGUAS, 2010).

Para a propagação de vazões em regime gradualmente variado não permanente, o SWMM utiliza as equações de Saint Venant (14) e (15), ou seja, as equações de conservação de massa e da quantidade de movimento são resolvidas para a definição do transporte no conduto (ROSSMAN, 2012). Para tanto, o software permite selecionar três modelos hidráulicos de transporte para definir o nível de

refinamento desejado para resolver tais equações: O fluxo em regime uniforme, a onda cinemática e a onda dinâmica.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{B \cdot \partial x} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot A \cdot (S_0 - S_f) \quad (15)$$

Onde (FASSONI-ANDRADE *et al.* 2017):

Q = Vazão;

h = Profundidade;

t = Tempo;

B = Largura da seção transversal;

x = Distância no sentido longitudinal;

g = Aceleração da gravidade;

A = Área da Seção Transversal;

S<sub>0</sub> = Declividade do fundo do curso d'água; e

S<sub>f</sub> = perda de energia por atrito com o fundo, as margens e efeitos turbulentos.

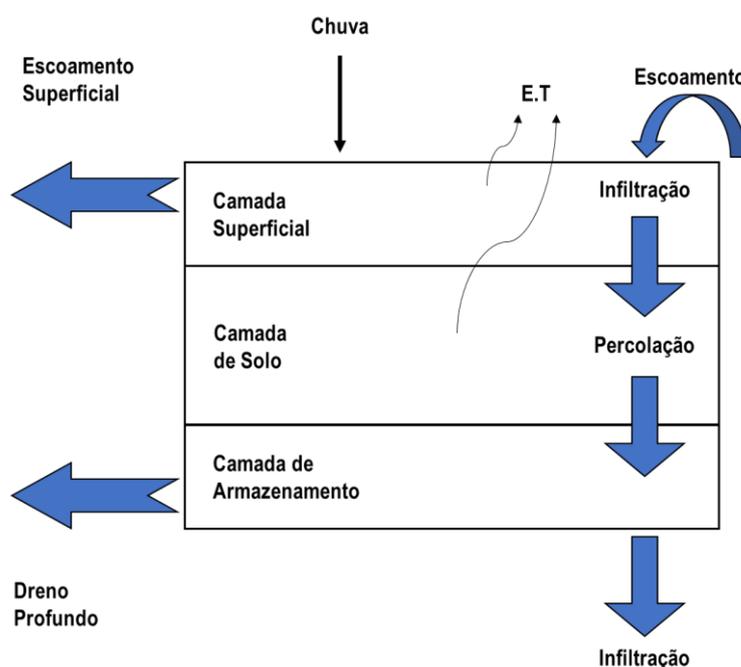
O modelo hidráulico de fluxo em regime uniforme, ao considerar que em cada intervalo de tempo o escoamento é uniforme e permanente, desconsidera armazenamento nos condutos. O método apenas transfere do conduto para jusante o hidrograma de montante. Já modelo da onda cinemática “resolve a equação da continuidade junto com uma forma simplificada da equação da quantidade de movimento em cada um dos condutos” e permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo, resultando em um amortecimento e defasagem dos hidrogramas de saída para as estruturas a jusante. Assim como o modelo anterior, desconsidera ressalto hidráulico, perdas na entrada e na saída, remanso e pressurização. O modelo da onda dinâmica, por sua vez, “resolve as equações completas unidimensionais de Saint Venant e, portanto, teoricamente, gera resultados mais precisos”. Este modelo pode ser aplicado para qualquer tipo de traçado, pois calcula simultaneamente os níveis de água e vazão nos condutos (ROSSMAN, 2012).

De acordo com o Manual do Usuário, e como ilustra a Figura 16, os objetos LID são representados por uma combinação de camadas verticais, descritas no Quadro 5, cujas propriedades são definidas por unidades de área, permitindo aplicações de

estruturas com o mesmo projeto em diferentes sub-bacias. Para determinar o escoamento e armazenamento entre as camadas, o software realiza o balanço hídrico.

Tominaga (2013) constata que o software apresenta modelagem bastante completa e apresenta todas as características necessárias para o desenvolvimento de um trabalho voltado para o tema de urbanização e cheias, “sendo capaz de modelar os processos hidrológicos e hidráulicos de bacias urbanas, além de avaliar a implantação das medidas de controle na fonte”.

**Figura 16 - Representação conceitual de um controle LID – SWMM.**



Fonte: ROSSMAN (2012), adaptado pelo autor.

**Quadro 5 - Descrição das camadas de um controle LID – SWMM.**

<b>Camada</b>	<b>Descrição</b>
Camada Superficial	Corresponde ao terreno superficial (ou pavimentação) que recebe diretamente a precipitação e o escoamento das áreas de montante, armazena o excesso de afluência em depressões, e gera escoamentos que afluem para o sistema de drenagem ou para áreas de jusante.
Camada Pavimento	A camada pavimento é a camada de concreto ou asfalto poroso - usado em sistemas de pavimentação porosa - ou são blocos de pavimentação e material de preenchimento usado em sistemas modulares.
Camada de Solo	A camada de solo é o solo especificamente preparado para manter o crescimento vegetal em bacias de filtração.
Camada de Armazenamento	A camada de armazenamento é o leito de britas, seixos ou cascalhos, usado em bacias de filtração, trincheiras de infiltração ou pavimentos porosos. No caso de uma cisterna, ela representa a própria cisterna.
Dreno Profundo	O dreno profundo transporta a água que provém do leito de britas, seixos ou cascalhos da bacia de filtração, do pavimento poroso ou da trincheira de infiltração para um conduto ou uma caixa de contenção. No caso de cisterna, representa simplesmente a válvula de saída da cisterna.

Fonte: ROSSMAN (2012).

#### **4.8 Dados de entrada no SWMM**

Com a finalidade de descrever e modelar o mais fielmente possível a área de estudo, foram extraídos os dados de geoprocessamento relativos às sub-bacias, tais como área, extensão máxima de escoamento e declividade.

De posse de tais dados foi calculada a largura característica de escoamento dividindo a área obtida pela extensão máxima de escoamento. Os dados observados na Tabela 2 permitiram o cálculo da fração impermeável, através da relação da área de pavimentos e escadarias com a área total da bacia, e o cálculo ponderado do CN, utilizando critérios descritos no item 4.2.

Utilizando a Tabela 5 para a rugosidade de Manning, foi adotada para as áreas permeáveis a consideração de margens espraiadas, muita vegetação em condição regular ( $n=0,125$ ) e superfícies de cimento alisado em condição muito boa ( $n=0,010$ ).

Para a profundidade de armazenamento superficial, relativas ao armazenamento em depressões, foram adotados os valores recomendados pela American Society of Civil Engineers (ASCE, 1992) que, de acordo com Tominaga (2013), recomenda a adoção de 2,54 mm para áreas permeáveis e 1,90 mm para áreas impermeáveis.

Os valores supracitados podem ser visualizados em resumo, por sub-bacia, na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados de entrada das sub-bacias no SWMM.

Sub-bacia	Área	Largura	Declividade	Fração Impermeável	CN	n Manning		Profundidade de Armazenamento Superficial	
						Área Permeável	Área Impermeável	Área Permeável	Área Impermeável
(-)	(ha)	(m)	(%)	(%)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)
01	0.142	30.84	15.79	28.09	80	0.125	0.010	2.54	1.90
02	0.563	72.10	4.86	20.52	81	0.125	0.010	2.54	1.90
03	0.719	70.72	6.02	51.28	83	0.125	0.010	2.54	1.90
04	0.647	54.22	3.91	37.75	83	0.125	0.010	2.54	1.90
05	0.801	46.81	4.21	47.39	83	0.125	0.010	2.54	1.90
06	1.257	73.48	2.09	43.41	82	0.125	0.010	2.54	1.90
07	0.294	21.08	3.63	14.26	77	0.125	0.010	2.54	1.90
08	0.238	21.68	21.88	53.40	84	0.125	0.010	2.54	1.90
09	0.538	52.13	12.00	41.93	83	0.125	0.010	2.54	1.90
10	0.488	48.18	15.00	47.27	83	0.125	0.010	2.54	1.90
11	0.779	50.48	3.64	22.94	80	0.125	0.010	2.54	1.90
12	0.906	32.60	1.87	58.89	84	0.125	0.010	2.54	1.90
13	0.410	31.99	3.35	53.59	82	0.125	0.010	2.54	1.90
14	0.711	47.85	5.29	41.72	82	0.125	0.010	2.54	1.90
15	0.705	34.40	5.02	53.81	84	0.125	0.010	2.54	1.90
16	0.263	30.74	7.97	46.25	83	0.125	0.010	2.54	1.90
17	0.614	36.56	8.51	51.91	84	0.125	0.010	2.54	1.90
18	0.725	38.04	10.34	52.31	84	0.125	0.010	2.54	1.90
19	0.553	35.82	14.79	54.99	85	0.125	0.010	2.54	1.90
20	0.446	34.89	18.62	53.42	84	0.125	0.010	2.54	1.90
21	0.386	31.14	18.94	47.88	84	0.125	0.010	2.54	1.90
22	0.425	37.36	14.62	33.71	83	0.125	0.010	2.54	1.90
23	0.669	45.77	17.40	39.04	82	0.125	0.010	2.54	1.90
24	0.908	64.36	13.30	42.74	83	0.125	0.010	2.54	1.90
25	0.386	30.85	12.82	53.75	84	0.125	0.010	2.54	1.90
26	0.502	24.23	8.25	53.34	85	0.125	0.010	2.54	1.90
27	0.323	42.74	4.14	49.88	83	0.125	0.010	2.54	1.90

Fonte: PORTO (1998), CIRILO COELHO e BAPTISTA (2001), ASCE (1992, apud TOMINAGA, 2013), o autor (2021).

Para a topologia dos condutos foram adotados dois cenários. O primeiro cenário se refere à representação da galeria de drenagem, dimensionada através do software SewerCAD da Bentley. O segundo cenário se refere à desapropriação de imóveis que ocupam o leito original do canal para restaurar sua seção original.

A galeria de drenagem foi dimensionada pelo método Racional considerando a área que contribuiria para cada poço de visita projetado. Foi adotado o tempo de retorno de 50 anos, limitação de seção 80% cheia e material PEAD com diâmetro nominal variando entre 800 e 1200 mm. Os trechos da tubulação podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 - Planilha de dimensionamento da galeria de drenagem.

TRECHO	POÇO DE VISITA		COTA DO TERRENO		COTA DE FUNDO		PROF. DO TRECHO		EXTENSÃO	VAZÃO		DN	DECLIVIDADE		VELOCIDADE		LÂMINA TR 50 ANOS (Y)	Y/D
	MONT	JUS.	MONT	JUS	MONT	JUS	MONT	JUS.		TR 25 ANOS	TR 50 ANOS		ADOTADA	MÍNIMA	ESCOAMENTO	CRÍTICA		
(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m³/s)	(m³/s)	(-)	(m/km)	(m/km)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(%)
1	PV-01	PV-02	22,14	21,66	20,48	20,00	1,66	1,66	14,71	1,52	1,66	800	32,65	5,00	5,85	8,66	530,40	65,56
2	PV-02	PV-03	21,66	20,46	20,00	18,80	1,66	1,66	99,75	1,52	1,66	800	12,04	5,00	3,91	9,31	622,99	77,01
3	PV-03	PV-04	20,46	19,87	18,80	18,20	1,66	1,66	35,41	1,52	1,66	800	16,72	5,00	4,50	9,14	545,99	67,49
4	PV-04	PV-05	19,87	20,14	17,93	17,89	1,93	2,26	9,50	1,52	1,66	1.000	5,00	5,00	2,88	10,28	706,21	67,13
5	PV-05	PV-06	20,14	20,00	17,73	17,54	2,41	2,46	37,55	2,72	2,96	1.200	5,00	5,00	3,27	11,33	897,98	74,21
6	PV-06	CANAL	20,00	17,68	17,54	17,20	2,46	0,48	54,52	3,13	3,40	1.200	6,26	5,00	3,67	11,35	907,98	75,04

Fonte: O autor (2021).

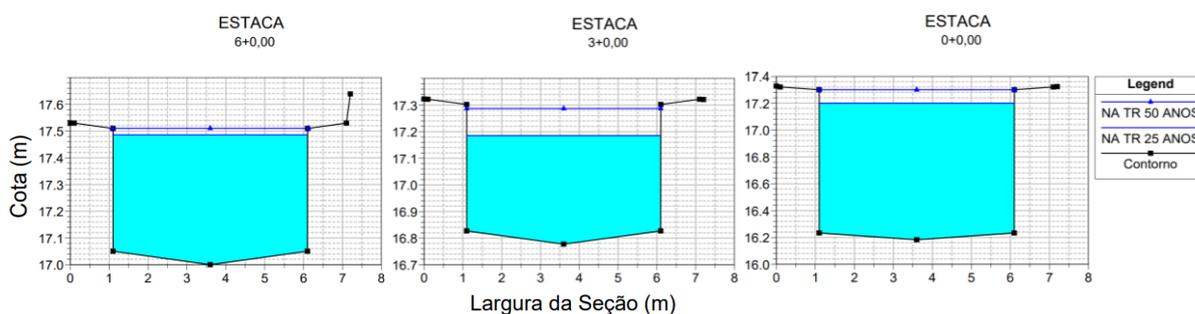
Nesse cenário, a galeria desemboca em um trecho de canal a ser revitalizado. O canal foi dimensionado também pelo método Racional, com paredes de concreto e fundo em terreno natural. Apesar de não recomendado pela literatura, foi adotada a seção retangular em detrimento à trapezoidal, para evitar quantitativos vultuosos de área a desapropriar, principalmente pela proximidade de uma estrutura pública de educação. O canal foi pré-dimensionado através do software “Canal” disponibilizado pelo Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa e posteriormente modelado no software “HEC-RAS” do U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Os parâmetros utilizados em projeto foram vazão (Tabela 9),  $n$  de Manning equivalente para a seção mista ( $n=0,023$ ), declividade (variável por trecho), largura da base disponível na seção original ( $B=5$  m), comprimento do canal ( $L=120$  m) e nível d’água fixado em 17,30 m na foz. As seções obtidas nas estacas 6+0,00 (início), 3+0,00 (intermediária) e 0,00 (foz) podem ser visualizadas na Figura 17.

**Tabela 9 - Vazão calculada pelo método Racional para o canal Colina.**

Parâmetro	Valor
Área da bacia	15,40 ha
Extensão do Talvegue	0,70 m
Desnível do Talvegue	50,00 m
Tempo de concentração (Kirpich)	8,37 min
Precipitação (Tr = 50 anos; $t = t_c$ ; curva $i_t$ )	152,87 mm/h
Coeficiente de escoamento superficial (C)	0,80
Vazão ( $Q = 0,00278 \cdot C \cdot i \cdot A$ )	5,24 m <sup>3</sup> /s

Fonte: O autor (2021).

**Figura 17 - Modelagem no HEC-RAS – Seções transversais.**

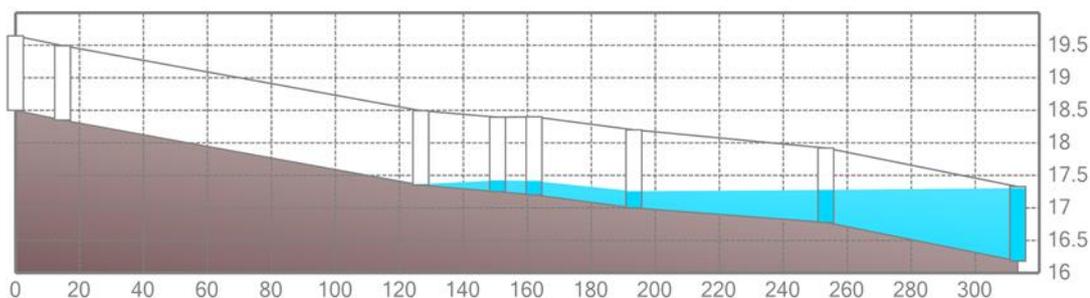


Fonte: O autor (2021).

Para o cenário que prevê a requalificação total do canal, como o modelo digital do terreno não consegue, neste caso, detectar bem a topografia da seção primitiva do canal foi adotada uma continuação da seção original a fim de idealizar o traçado com

declividade constante e reduzida (Figura 18). Este empecilho se dá pela existência de domicílios com fundação sobre o leito do curso d'água.

**Figura 18 - Modelagem idealizada do canal revitalizado**



Fonte: O autor (2021).

#### 4.9 Dispositivos LID adotados

Os dispositivos LID adotados nesta modelagem ficaram restritos a telhados verdes e pavimento permeável, pois ao fazer visitas de campo, analisar a base cartográfica recebida pela Prefeitura Municipal de Jabotão dos Guararapes e verificar potenciais áreas através de ferramentas como o Google Street View, foi constatado que as calçadas da sub-bacia não estavam aptas para receber trincheiras de infiltração ou jardins de chuva, pois possuíam dimensões demasiadamente pequenas para permitir o uso múltiplo dos passeios. Poços de infiltração não foram utilizados pela desvantagem de possuírem baixa capacidade de armazenamento.

Para modelar tais dispositivos o software SWMM requer a inserção de dados relativos às camadas ilustradas na Figura 16 - Representação conceitual de um controle LID – SWMM e no Quadro 5, presentes no item 4.7 deste documento. Os valores adotados foram consultados em diversos estudos acadêmicos de modelagem de escoamento superficial no software, bem como adotadas as recomendações do Manual do Usuário do SWMM (ROSSMAN, 2012).

A disposição espacial de vias pavimentadas foi utilizada como área disponível para aplicação da técnica compensatória de pavimentos permeáveis. Apesar de recomendada para vias com baixo potencial de tráfego, como é o caso das ruas periféricas da área de estudo, foi adotada também na avenida que corta a sub-bacia. Os parâmetros adotados para a modelagem podem ser observados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Parâmetros adotados para pavimentos permeáveis no SWMM**

Camada	Parâmetro	Valor adotado
Superficial	Altura do armazenamento superficial (mm)	2.54
	Fração da cobertura vegetal (-)	0.00
	Rugosidade superficial (-)	0.03
	Declividade superficial (%)	0.50
Pavimento	Profundidade da camada (mm)	50.00
	Índice de vazios (-)	0.25
	Fração da superfície impermeável (-)	0.00
	Permeabilidade da camada (mm/h)	5655.60
	Fator de Colmatação (-)	0.00
Armazenamento	Altura da camada índice de vazios (mm)	150.00
	Índice de vazios (-)	0.67
	Taxa de filtração da camada (mm/h)	0.00
	Fator de Colmatação (-)	0.00
Sistema de drenos	Expoente de drenagem (mm/h)	2.72
	Coefficiente de drenagem (-)	0.50
	Altura do dreno acima do fundo da camada (mm)	0.00

Fonte: Rawls, Brakesiek e Miller (1983), Pinto (2011), De Virgiliis (2009), Rio Aguas (2010), ASCE (1992, apud Tominaga 2013), Rossman (2012).

Para os telhados verdes, foi considerada a área relativa apenas às edificações, e não os lotes, inseridas em cada sub-bacia. Foi utilizada como premissa a adoção de tais técnicas na totalidade dos domicílios e nas áreas de serviços públicos voltadas à educação e saúde. Os parâmetros adotados para a modelagem podem ser observados na Tabela 11.

**Tabela 11 - Parâmetros adotados para telhados verdes no SWMM**

Camada	Parâmetro	Valor adotado
Superficial	Altura do armazenamento superficial (mm)	3.80
	Fração da cobertura vegetal (-)	0.90
	Rugosidade superficial (-)	0.00
	Declividade superficial (%)	0.00
Solo	Profundidade da camada (mm)	120.00
	Porosidade (-)	0.437
	Capacidade de campo (-)	0.062
	Ponto de murcha (-)	0.024
	Condutividade hidráulica do solo saturado (mm/h)	120.40
	Declividade da condutividade hidráulica (-)	5.00
	Potencial matricial do substrato (mm)	49.00
	Altura da camada índice de vazios (mm)	38.00
Armazenamento	Índice de vazios (-)	0.25
	Taxa de filtração da camada (mm/h)	0.00
	Fator de Colmatação (-)	0.00
	Expoente de drenagem (mm/h)	1.37
Sistema de drenos	Coefficiente de drenagem (-)	0.50
	Altura do dreno acima do fundo da camada (mm)	0.00

Fonte: Rawls, Brakesiek e Miller (1983), Pinto (2011), Rio Aguas (2010), FLL (2002), ASCE (1992, apud Tominaga 2013), Rossman (2012).

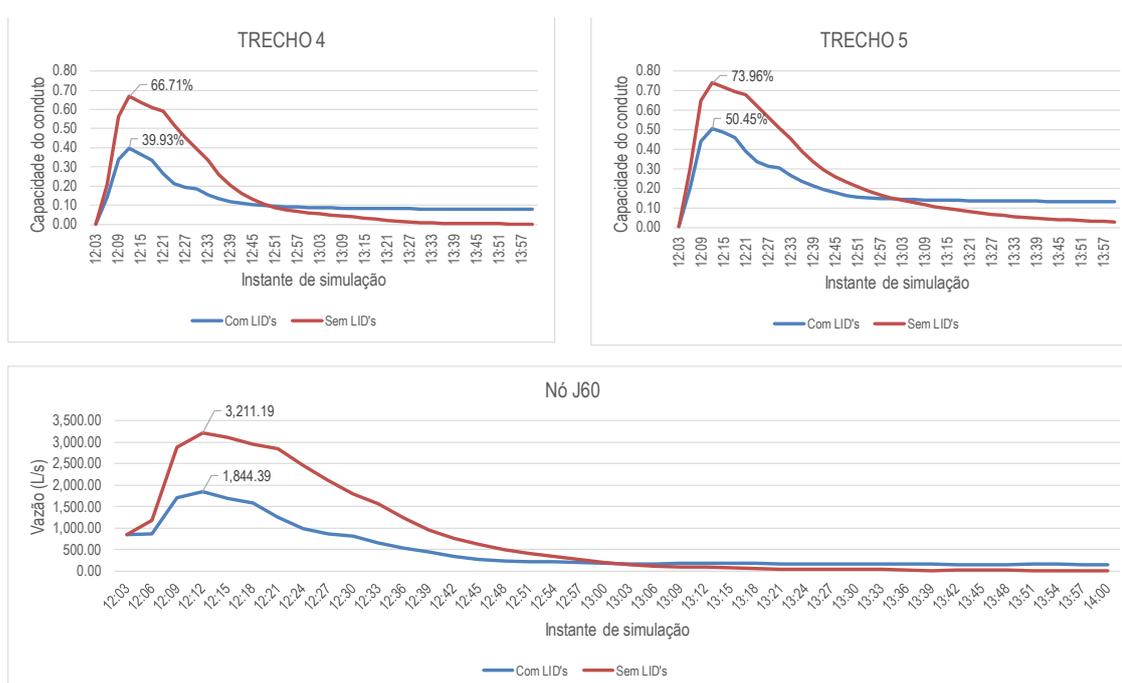
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos na modelagem deste estudo. O Cenário 1 se refere à galeria de drenagem projetada para o trecho com intensa ocupação urbana sob o leito do canal Colina. O cenário 2 se refere à modelagem do curso d'água completamente reestabelecido. Em ambos os cenários, são avaliados os efeitos da adoção das técnicas compensatórias descritas no capítulo anterior.

### 5.1 Cenário 1: Galeria de drenagem no trecho com eixo ocupado

Para o cenário modelado com tempo de duração de 30 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 19 ilustra os resultados obtidos referentes à capacidade dos condutos dos trechos 4 e 5 da galeria de drenagem projetada (Tabela 8), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

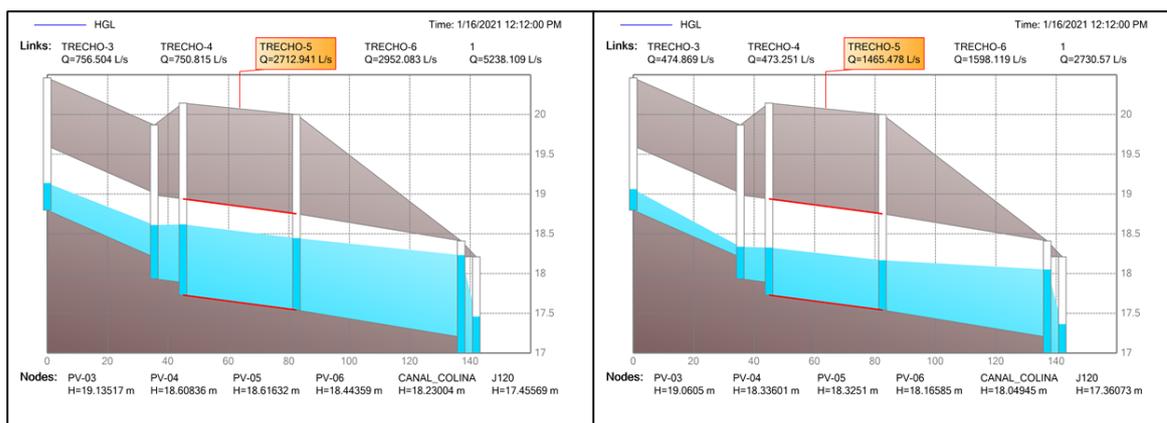
Figura 19 - Resultados da modelagem nos trechos de controle (td = 30 min).



Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 3.211,19 L/s e de 1.844,39 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 42,56% na vazão. O hidrograma sem uso de LIDs teve final mais abrupto, enquanto o hidrograma com uso de LIDs apresentou uma vazão residual regularizada. Foi observado também que a capacidade dos condutos foi substancialmente menos solicitada no cenário com técnicas compensatórias. A Figura 20 ilustra o perfil dos condutos no instante de pico de capacidade ocupada dos tubos da galeria projetada.

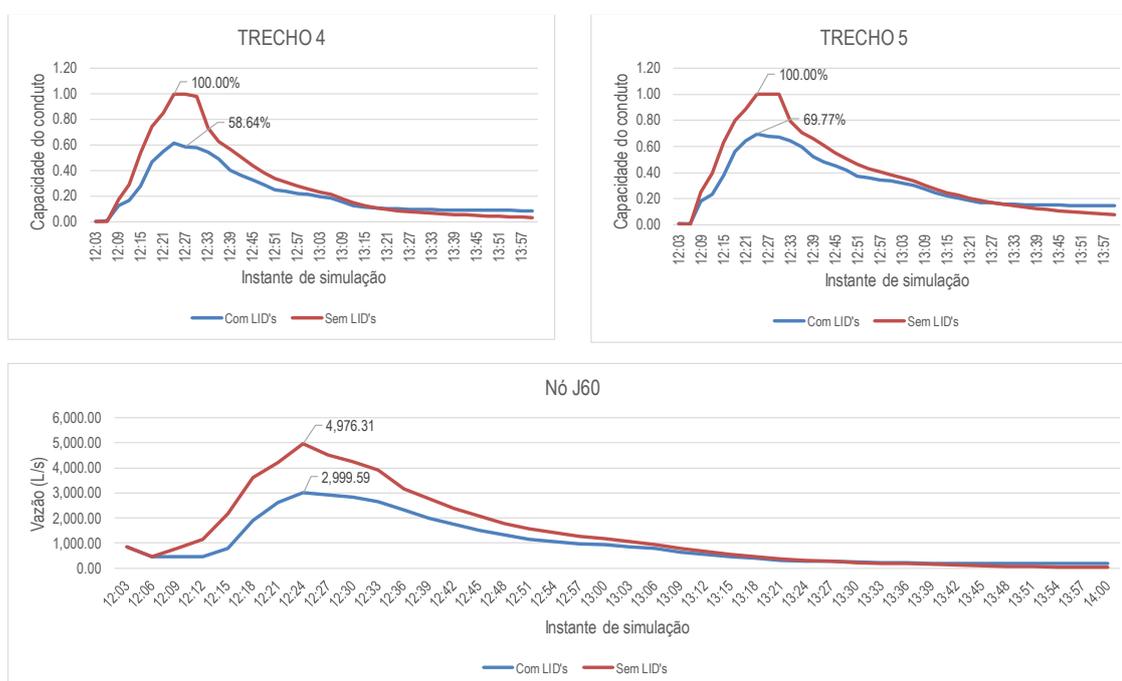
**Figura 20 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma ( $t_d = 30$  min).**



Fonte: O autor (2021).

Para o cenário modelado com tempo de duração de 60 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 21 ilustra os resultados obtidos referentes à capacidade dos condutos dos trechos 4 e 5 da galeria de drenagem projetada (Tabela 8), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

**Figura 21 - Resultados da modelagem nos trechos de controle ( $t_d = 60$  min).**

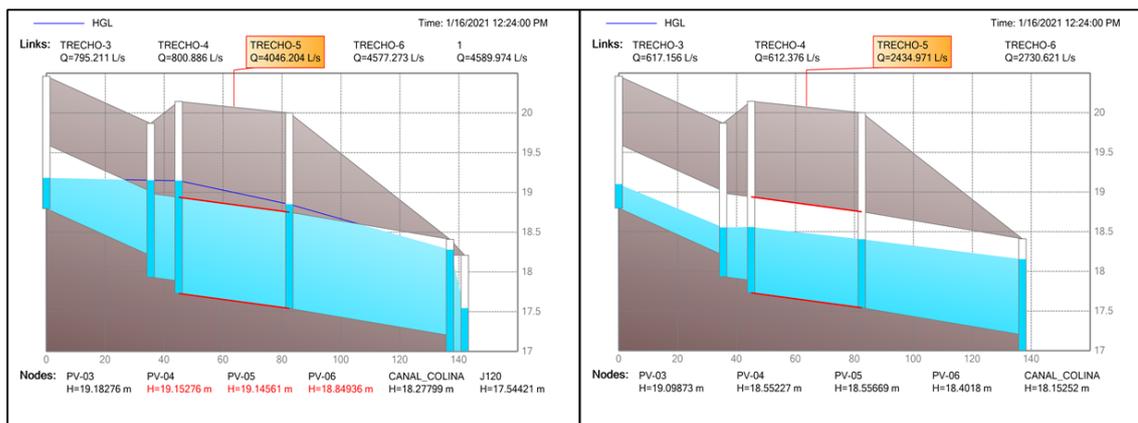


Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 4.976,31 L/s e de 2.999,59 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 39,72% na vazão. Em consonância com a modelagem anterior, nota-se que o comportamento da existência de uma vazão residual regularizada permanece. A capacidade dos

condutos novamente foi menos solicitada no cenário com técnicas compensatórias, onde os trechos 4 e 5 operaram com seção preenchida acima da capacidade. A Figura 22 ilustra o perfil dos condutos no instante de pico de capacidade ocupada dos tubos da galeria projetada.

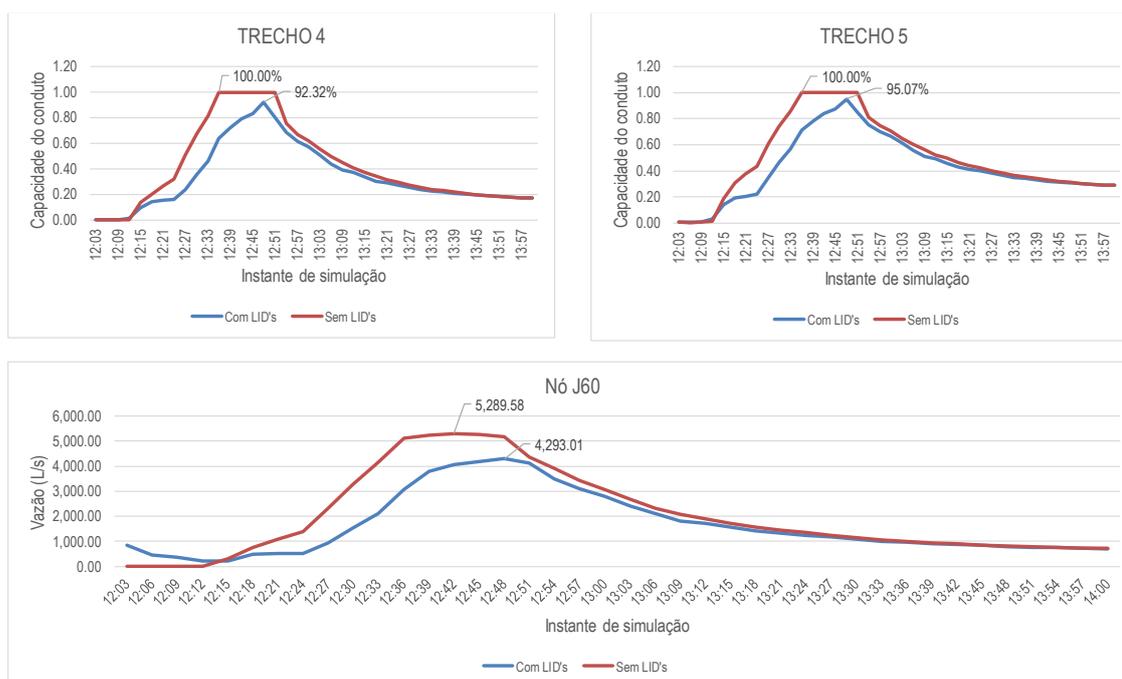
**Figura 22 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma (td = 60 min).**



Fonte: O autor (2021).

Para o cenário modelado com tempo de duração de 120 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 23 ilustra os resultados obtidos referentes à capacidade dos condutos dos trechos 4 e 5 da galeria de drenagem projetada (Tabela 8), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

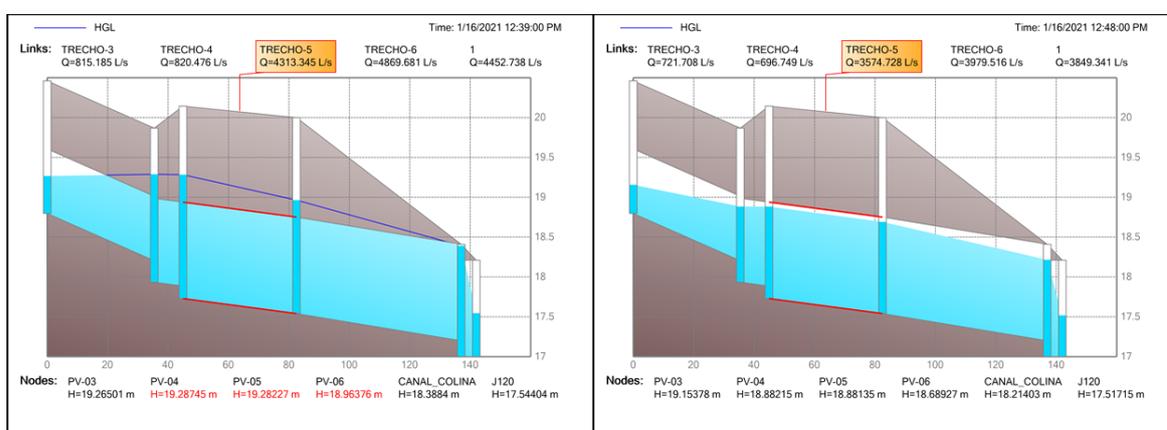
**Figura 23 - Resultados da modelagem nos trechos de controle (td = 120 min).**



Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 5.289,58 L/s e de 4.293,01 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 18,84% na vazão. Nesta condição, o tempo de pico em relação ao início da precipitação sofreu um retardo, passando de 42 minutos no cenário sem técnicas compensatórias para 48 minutos com o uso de tais dispositivos. A capacidade dos condutos novamente foi menos solicitada no cenário com técnicas compensatórias, onde os trechos 4 e 5 operaram com seção preenchida acima da capacidade. A Figura 24 ilustra o perfil dos condutos no instante de pico de capacidade ocupada dos tubos da galeria projetada.

**Figura 24 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma (td = 120 min).**

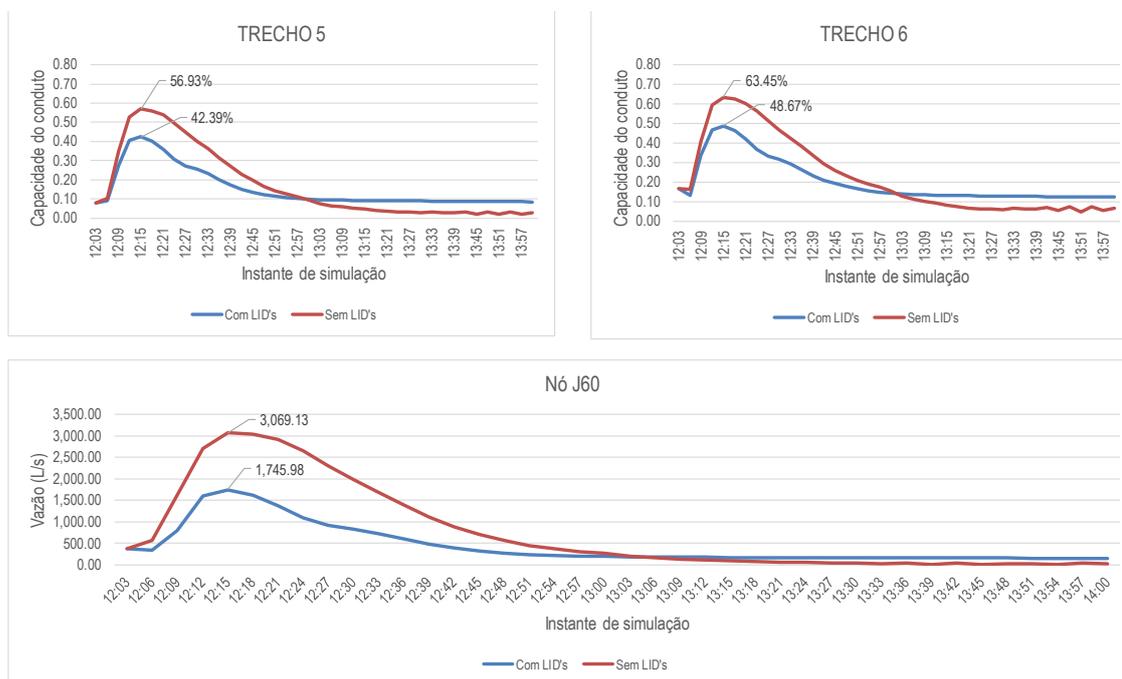


Fonte: O autor (2021).

## 5.2 Cenário 2: Canal requalificado em sua totalidade

Para o cenário modelado com tempo de duração de 30 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 25 ilustra os resultados obtidos referentes à capacidade dos condutos dos trechos 5 e 6 do canal idealizado projetado (Figura 18), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

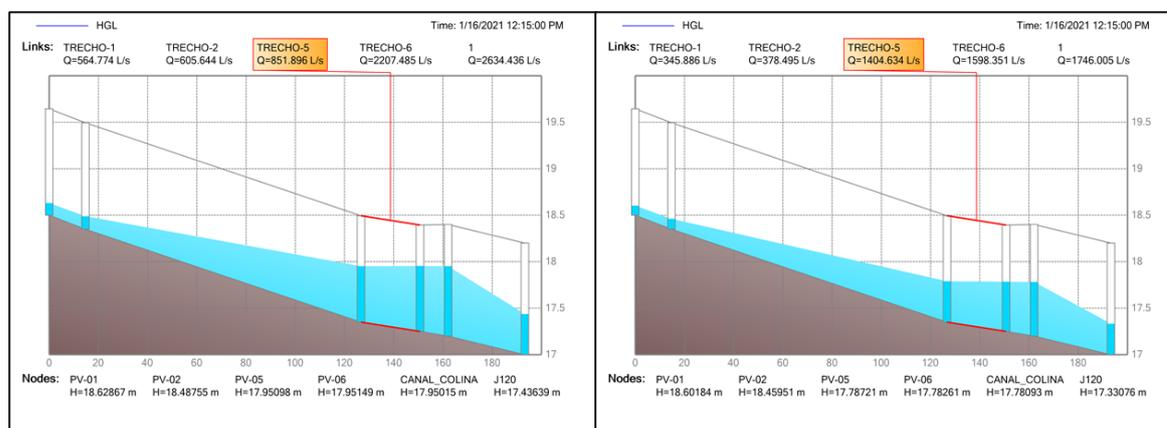
**Figura 25 - Resultados da modelagem nos trechos de controle (td = 30 min).**



Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 3.069,13 L/s e de 1.745,98 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 43,11% na vazão. Como no cenário anterior, o hidrograma sem uso de LIDs teve final mais abrupto, enquanto o hidrograma com uso de LIDs apresentou uma vazão residual regularizada. Foi observado também que a capacidade dos condutos foi menos solicitada no cenário com técnicas compensatórias. A Figura 26 ilustra o perfil dos trechos do canal no instante de pico de capacidade ocupada da seção projetada.

**Figura 26 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma (td = 30 min).**

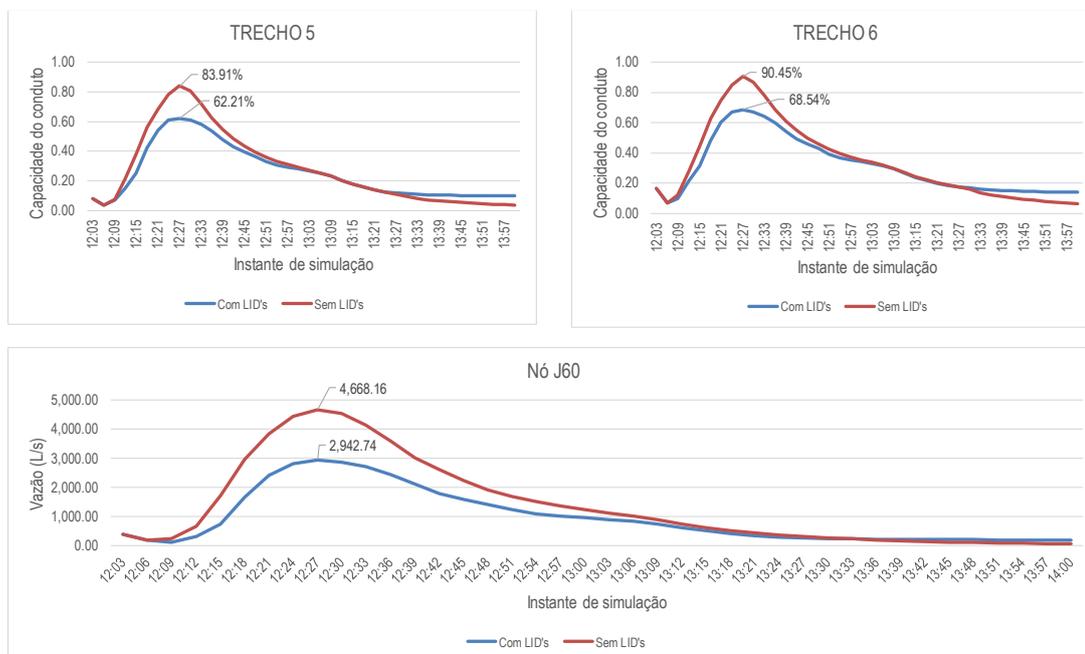


Fonte: O autor (2021).

Para o cenário modelado com tempo de duração de 60 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 27 ilustra os resultados obtidos referentes

à capacidade dos condutos dos trechos 5 e 6 do canal idealizado projetado (Figura 18), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

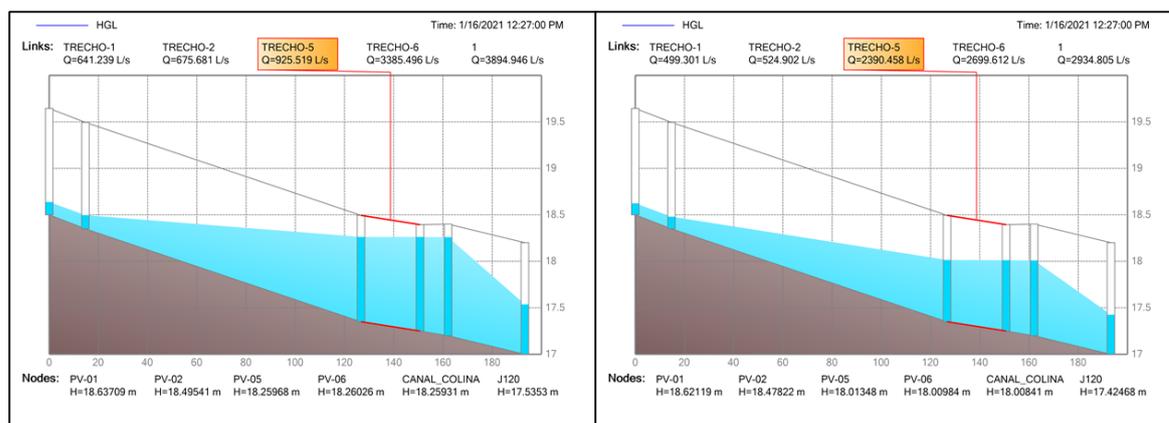
**Figura 27 - Resultados da modelagem nos trechos de controle (td = 60 min).**



Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 4.668,16 L/s e de 2.942,74 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 36,96% na vazão. Em consonância com a modelagem anterior, nota-se que o comportamento da existência de uma vazão residual regularizada permanece. Foi observado também que a capacidade dos condutos foi menos solicitada no cenário com técnicas compensatórias. A Figura 28 ilustra o perfil dos trechos do canal no instante de pico de capacidade ocupada da seção projetada.

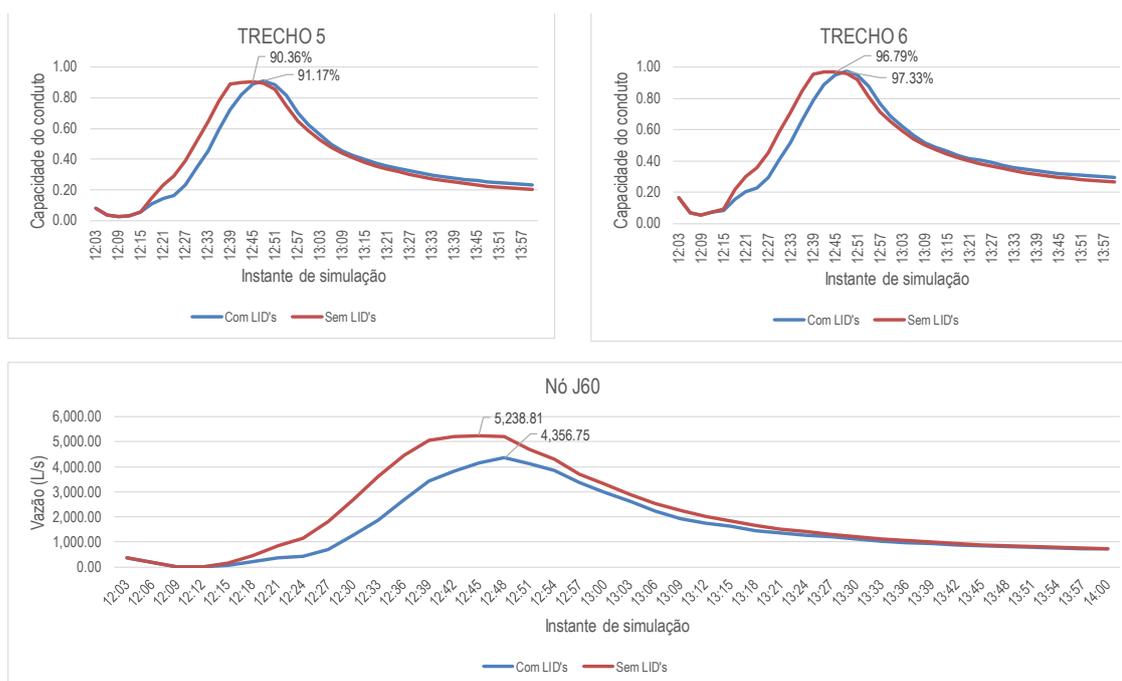
**Figura 28 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma (td = 60 min).**



Fonte: O autor (2021).

Para o cenário modelado com tempo de duração de 120 minutos, com precipitação descrita na Tabela 4, a Figura 29 ilustra os resultados obtidos referentes à capacidade dos condutos dos trechos 5 e 6 do canal idealizado projetado (Figura 18), bem como o hidrograma de escoamento no ponto de controle J60, localizado no ponto médio do trecho com seção definida pelo canal projetado.

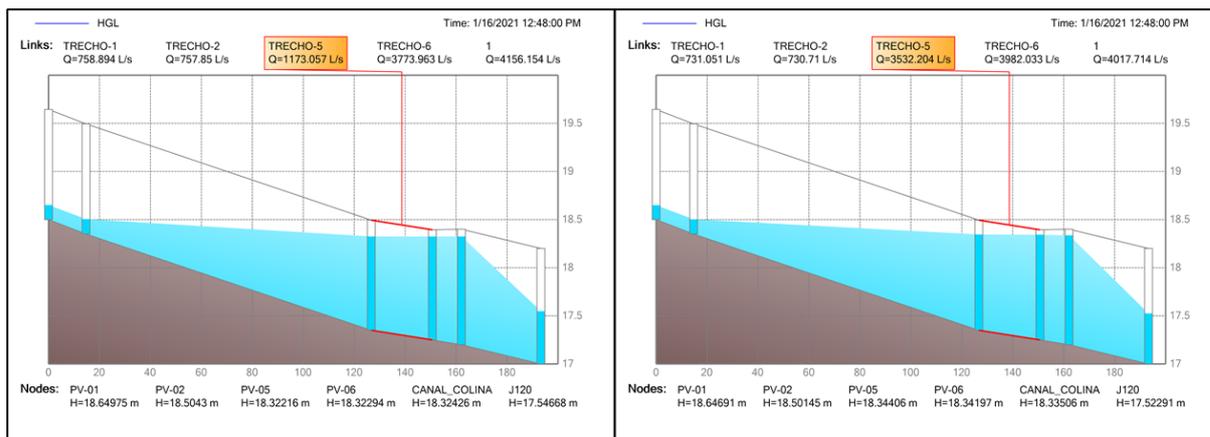
**Figura 29 - Resultados da modelagem nos trechos de controle (td = 120 min).**



Fonte: O autor (2021).

Os resultados mostram uma vazão de pico sem o uso de LIDs de 5.289,58 L/s e de 4.293,01 L/s com o uso de LIDs, representando uma redução de 18,84% na vazão. Nesta condição, o tempo de pico em relação ao início da precipitação sofreu um retardo, passando de 45 minutos no cenário sem técnicas compensatórias para 48 minutos com o uso de tais dispositivos. A capacidade dos condutos nesta condição não apresentou diferenças significativas quando comparada a presença e ausência das técnicas compensatórias. A Figura 30 ilustra o perfil dos trechos do canal no instante de pico de capacidade ocupada da seção projetada.

**Figura 30 - Perfil da tubulação para o tempo de pico do hidrograma (td = 120 min).**



Fonte: O autor (2021).

### 5.3 Contraste entre os cenários 1 e 2

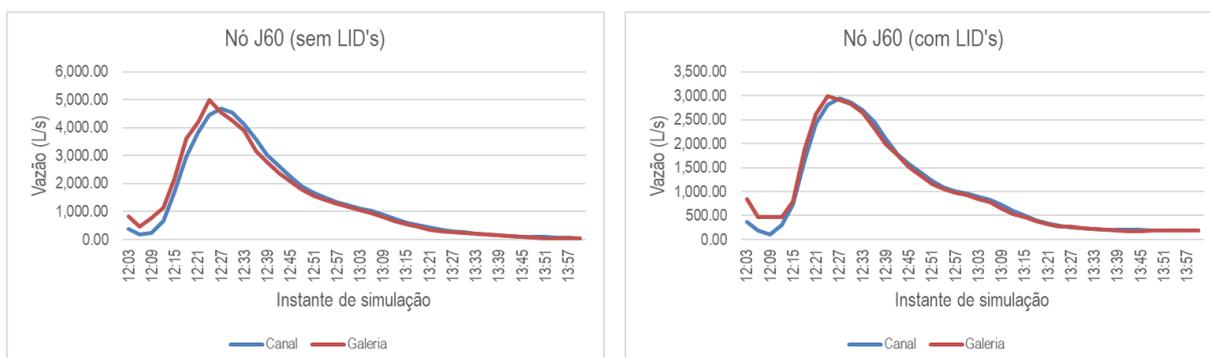
Os resultados obtidos com a modelagem do cenário 1, referente à combinação de galeria e canal, e do cenário 2, referente ao canal totalmente requalificado são contrastados na Figura 31, Figura 32 e Figura 33, para os tempos de duração de 30, 60 e 120 minutos.

**Figura 31 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 (td = 30 min).**



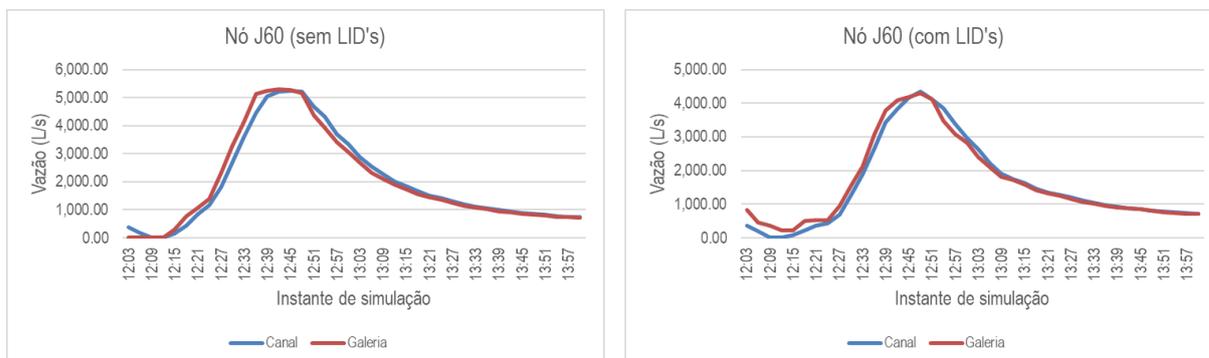
Fonte: O autor (2021).

**Figura 32 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 (td = 60 min).**



Fonte: O autor (2021).

**Figura 33 - Hidrogramas no ponto de controle do nó J60 (td = 120 min).**



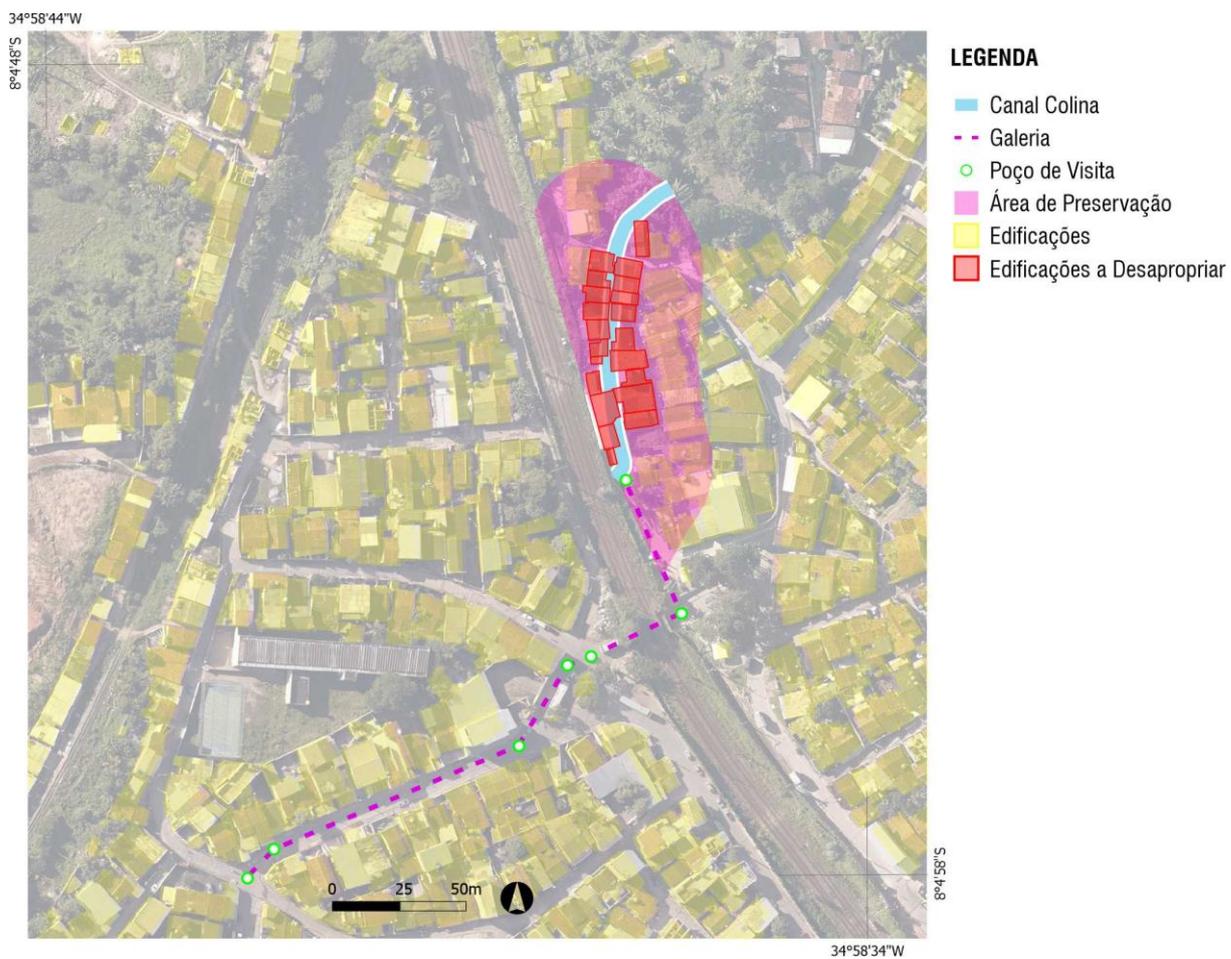
Fonte: O autor (2021).

Ao comparar o desempenho de cada cenário notou-se que houve uma ligeira redução das vazões de pico e pequeno retardo de pico, para uma mesma duração de precipitação e mesmas aplicações de técnicas compensatórias. As diferenças, no entanto, não se mostraram significativas no que tange vazão, principalmente nos maiores tempos de duração de precipitação. Contudo, foram observados instantes onde houve excedência de capacidade da tubulação das galerias de drenagem, fato que não ocorreu no cenário de requalificação total do canal.

Para concretizar a modelagem projetada seria necessário desapropriar propriedades para ambos cenários estudados. No cenário 1 (Figura 34), apenas para liberar a área correspondente à seção do canal, seria necessário desapropriar 21 domicílios totalizando 1260,33 m<sup>2</sup>, enquanto que 63 domicílios estariam total ou parcialmente inseridos em Área de Preservação Permanente (APP). Para o cenário 2 (Figura 35), 43 domicílios com aproximadamente 3036,06 m<sup>2</sup> estariam obstruindo a seção projetada para o canal, enquanto 147 domicílios e 1 instituição pública de ensino estariam em APP.

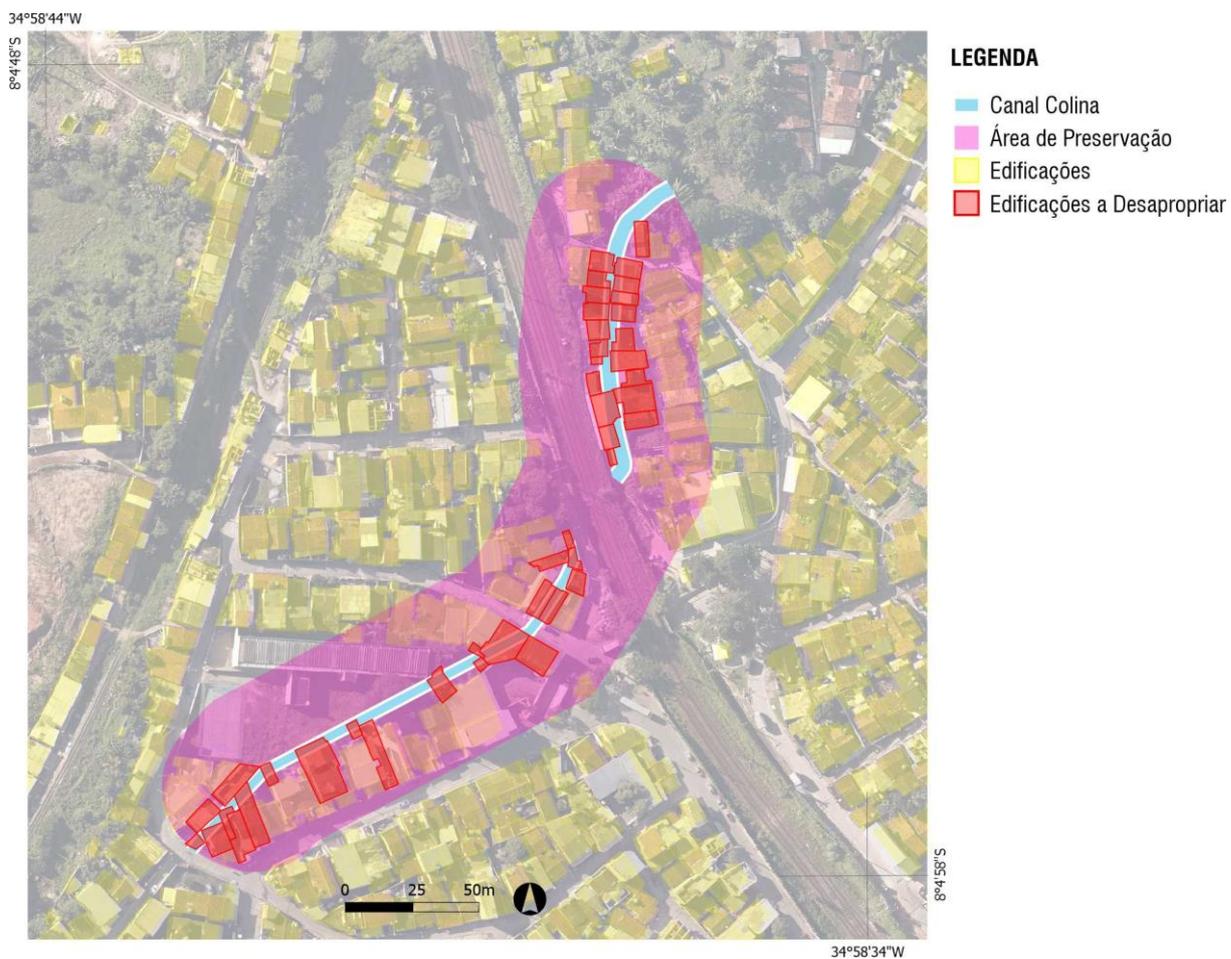
O cenário 1, neste sentido, apresentaria uma necessidade de desapropriação consideravelmente menor, o que facilitaria trâmites burocráticos e sociais, bem como reduziria os custos com desapropriação. O cenário 2, por outro lado restaura o leito original do canal Colina e resgata o curso d'água para o cenário urbano promovendo a valorização da presença da água em contraposição ao cenário 1, no qual o curso d'água não é visível. A médio prazo o esquecimento pela população, aliado a um eventual aumento na urbanização, à ocorrência de eventos extremos e à possível obstrução das galerias pode acarretar em efeitos negativos.

Figura 34 - Área de Preservação Permanente e desapropriações (Cenário 1)



Fonte: O autor (2021).

Figura 35 - Área de Preservação Permanente e desapropriações (Cenário 2)



Fonte: O autor (2021).

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando os cenários de intervenção foi possível vislumbrar os efeitos positivos da adoção de técnicas compensatórias no que se refere ao reestabelecimento das condições naturais de escoamento das bacias. Em todos os tempos de duração modelados foram verificadas reduções nas vazões de pico e em alguns casos o retardamento destes, quando comparando a adoção ou não de dispositivos LID. As diferenças entre os resultados se mostraram mais significativas nos cenários de menor duração de precipitação. No que se refere ao tipo das seções (galeria versus canal), as diferenças não se mostraram significativas do ponto de vista hidráulico.

Destaca-se, contudo, o caráter de idealização adotado neste estudo. Para resultados que retratem mais fidedignamente a realidade da bacia analisada, podem ser estudados os parâmetros locais do solo, bem como viabilidade das técnicas compensatórias a serem implementadas, dadas as condicionantes geométricas.

É importante salientar que a modelagem desenvolvida neste estudo apresentou uma concepção comparando alternativas de macro e microdrenagem para uma bacia de pequeno porte, considerando condicionantes espaciais locais. O projeto de um canal ou uma galeria adequada para o local exigiria levantamentos topográficos de campo, principalmente das regiões onde o Modelo Digital do Terreno (MDT) não pode retratar a realidade, bem como um estudo hidrológico de jusante para montante que permita utilizar condições de contorno mais adequadas.

É válido também destacar que a modelagem realizada através deste estudo não considera uma variável bastante percebida em campo: o depósito de resíduos sólidos e esgotamento sanitário no leito do curso d'água. Essa variável interfere significativamente no que se refere à propagação da vazão, principalmente em condutos de seção fechada, e exigiria programas de universalização de saneamento básico, manutenção, limpeza e educação ambiental para a comunidade inserida na bacia de contribuição.

Quando comparadas as áreas necessárias a desapropriar em cada cenário, percebe-se que a requalificação total do canal Colina exige grandes áreas a desapropriar. Tal fato decorre da prática comum da ocupação sem diretrizes para disciplinar o uso do solo no que tange drenagem urbana, ou seja, que respeitem as características topográficas e geológicas da área. Esse fenômeno acaba por gerar situações semelhantes ao caso de estudo: o dilema entre desapropriar e

reestabelecer a seção original ou a realização de obras de proteção para não gerar consequências danosas à população residente.

Nesse sentido, a literatura técnica sempre recomenda opções que priorizem a revitalização dos rios, riachos e canais urbanos, principalmente pelo aumento em escala de vazões de escoamento ao passo da crescente urbanização das bacias urbanas. Contudo, existem condicionantes políticas e sociais que são dificilmente mensuradas nesse sentido, a exemplo do impacto na vulnerabilidade habitacional, nos ciclos sociais, no acesso a equipamentos de infraestrutura pública e até mesmo no âmbito cultural da população residente. O impacto de cada ação tem pesos que devem ser ponderados e aplicados, sempre levando em consideração o contexto local.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. G. D.; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22n n. 2, p. 239-250, 19 jan. 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília: Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros e cargas na região amazônica**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Belém. 2018.

ASHLEY, R. *et al.* Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, v. 166, n.2, p. 65-76, jun. 2013.

AZEVEDO NETTO, J. M. Cronologia dos serviços de esgotos, com especial menção ao Brasil. **Revista DAE**, p. 20(33): 15-19, 1959.

BAPTISTA, M. B.; CARDOSO, A. S. Rios e cidades: uma longa e suniosa história. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 124-153, 14 jul./dez. 2013.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2ª. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BARD, K. A.; SHUBERT, S. B. **Encyclopedia of the Archaeology of Ancient Egypt**. London; New York: Routledge, 1999.

BASSINI, M. La creatività al servizio dell'impresa. In: ACQUAVIVA, P. F.; ROSSI BARATTINI, G. G. **La direzione del personale oggi: incontri e testimonianze** / di Pier Francesco Acquaviva, Guido Gaetano Rossi Barattini ; con prefazione di Pietro Ferrari. Milão: Giuffrè, 2012. p. 224-234.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. **Esgotos combinados e controle da poluição: estratégia para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais**. Brasília, DF: Caixa Econômica Federal: Universidade de Brasília, 2004. 160 p. ISBN 978-85-8683-602-8.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva**. 3ª. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRAGA, R. A. P. *et al.* Informações hidráulicas e hidrológicas para renaturalização do riacho Parnamirim. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande - MS, nov. 2009.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)>. Brasília, 1997. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm)>. Brasília, 2000. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Brasília, 2012. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm)>. Brasília, 2020. Acesso em: 20 set. 2020.

CABRAL, J. J. S. P. *et al.* Avanços e desafios para a revitalização de rios urbanos em Recife: o caso do riacho Parnamirim. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis - SC, nov. 2017.

CABRAL, J. J. S. P.; CERQUINHA, G. G. M. B. R.; CARVALHO, A. F. Início da Mudança de Paradigma em Relação aos Cuidados com os Rios e Riachos Urbanos em Recife. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH**, Brasília - DF, 2015.

CABRAL, J. J. S. P.; PREUSS, S. L. C.; DA FONSECA NETO, G. C. Capibaribe e seus afluentes na planície de Recife: visão multidisciplinar de um rio urbano e sua importância para o sistema de drenagem das águas pluviais. **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Natal - RN, nov. 2014. 10p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAPILÉ, B. Rios urbanos e suas adversidades: repensando maneiras de ver as cidades. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 5, n. 1, p. 81-85, 2015.

CARVALHO, L. E. P. Os Descaminhos das Águas no Recife. **Dissertação (Mestrado em Geografia)**, Recife, 2004.

CASTEL, E. **Gran diccionario mitología egipcia**. Madrid: Aldebarán, 2001.

CIRILO, J. A.; COELHO, M. M. L. P.; BAPTISTA, M. B. **Hidráulica Aplicada**. Porto Alegre: ABRH, v. 8, 2001. 619 p.

COUTINHO, A. P. *et al.* COLETÂNEA DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH**, Bento Gonçalves, nov. 2013.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.

DA SILVA, E. R. O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos. **Tese (Doutorado em Saúde Pública)**, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. Rio de Janeiro, 1998.

DE ALENCAR, A. V. *et al.* **Manual de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais do Recife**. Prefeitura da Cidade do Recife/ Secretaria de Infra-Estrutura e Serviços Urbanos – SISUR/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB. Recife, p. 145. 2016. (ISBN 78-85-415-0892-6).

DE CASTRO, A. L. P.; SILVA, C. N. P.; SILVEIRA, A. Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava (PR), v. 7, n. 2, p. 305-315, abr. 2011.

DE CASTRO, L. M. A. Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água. **Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)**, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2007.

DE MELO, T. A. T. Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas. **Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)**, Recife, 2015.

DE VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)**, São Paulo, 2009.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. A. ANÁLISE DOS ELEMENTOS ATÍPICOS DO SISTEMA DE ESGOTO – SEPARADOR ABSOLUTO – NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Engevista**, v. 13, n. 3, 10 abr. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.uff.br/engevista/article/view/8886>>. Acesso em: 20 set. 2020.

FASSONI-ANDRADE, A. C. *et al.* Esquema numérico adaptativo de propagação de vazão com aproximação inercial. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis - SC, nov. 2017.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 3 out. 2015.

FLL – Forschungsgesellschaft landschaftsentwicklung landschaftsbau. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites – roof-greening guideline**. Download version 2006. Bonn, Germany: [s.n.], 2002.

GUASSELLI, L. A. *et al.* Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha, RS. **Geo UERJ**, v. 0, n. 28, p. 29-56, maio 2016.

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. **Water Resources Research**, v. 3, n. 4, p. 1007-1019, 1967.

KEESSTRA, S. *et al.* The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v. 610-611, p. 997–1009, jan. 2018.

LAFORTEZZA, R. *et al.* Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. **Environmental Research**, v. 165, p. 431-441, ago. 2018.

LI, J. Q. *et al.* Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden: Beijing Case Study. In: International low impact development conference 2008. **Anais eletrônicos.**, Seattle, Washington, United States: American Society of Civil Engineers, 2008. p. 1–10.

LIMEIRA, M. C. M.; DA SILVA, T. C.; CÂNDIDO, G. A. Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte I. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre - RS, v. 15, n. 1, p. 17-26, mar. 2010.

LINS, A. G. S. B. Representações de identidades da cidade necessária. **Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)**, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

LINS, R. C. Modelagem hidráulica do canal beira rio nos cenários de requalificação do curso d'água e de implantação de bacia de retenção. **Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos)**, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2019.

MANEGLIER, H. Une grande ville et un bassin : Paris et la Seine / Paris and the Seine : a world city and a river basin. **Revue de géographie de Lyon**, v. 67, n. 4, p. 299-303, 1992.

MARQUES, C. P. M.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais - Reflexões a partir do caso do Ribeirão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte- MG. **Geografias ARTIGOS CIENTÍFICOS**, Belo Horizonte, v. 10, no 2, p. 100-117, dezembro 2014. ISSN ISSN 2237-549X.

MATOS, J. D. S. Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. **Engenharia Civil - UM - Universidade do Minho**, Guimarães, Portugal, 2013.

MELLO, S. S. D. Na beira do rio tem uma cidade: urbanidade e valorização dos corpos d'água. **Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)**, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MELO, T. D. A. T. D. *et al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, setembro 2016.

MONTEIRO, L. R.; KOBAYAMA, M. Influências da distribuição temporal de precipitação no mapeamento de inundação. **REGA**, v. 11, no. 2, p. 25-35, dez. 2014.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. D. L. EVENTOS EXTREMOS PLUVIAIS EM JABOATÃO DOS GUARARAPES: CLIMATOLOGIA E ESTUDO DE CASO. **Revista do Departamento de Geografia USP**, p. 13, 2016.

NOH, S. H. Rio Cheonggyecheon: Seul, Coreia do Sul. In: MACHADO, A. T. G. M., *et al.* **Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010. p. 291-304.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 27-39, 2011.

PINTO, L. L. C. A. O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano. **Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica)**, São Paulo, 2011.

PORTO, R. D. M. **Hidráulica Básica**. 1. ed. São Carlos: EESC/USB, 1998. 540 p.

PORTO, R. L. L. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Abrh/Editora da Universidade/Ufrgs, 1995.

RAWLS, W. J.; BRAKESIEK, D. L.; MILLER, N. Green-Ampt infiltration parameters from soils data. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 109, n. 1, p. 62-70, jan. 1983.

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

RIO ÁGUAS. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. [S.l.]. 2010.

ROSIN, J. A. R. D. G. Áreas de preservação permanente e as dinâmicas urbanas e socioambientais: avanços e desafios das políticas de proteção e recuperação aos mananciais. **Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)**, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.

ROSSMAN, L. A. **SWMM 5.0 - MANUAL DO USUÁRIO**. Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL.: U.S. EPA - Environmental protection agency, 2012.

SANTOS, P. T. S. *et al.* Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, mar. 2013.

SEPÚLVEDA, R. D. O. Qual revitalização queremos? In: MACHADO, A. T. G. M., *et al.* **Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010. p. 15-16.

SFB - Serviço florestal brasileiro. **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**, 2019. Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestass/183-areas-de-preservacao-permanente>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

SILVA, C. C. G. D.; MELLO, S. C. B. D. Recife, Veneza Brasileira: repensando a mobilidade urbana a partir de seus rios. **Cidades. Comunidades e Territórios**, 30 junho 2017. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/cidades/455>>. Acesso em: 08 agosto 2020.

TECHNE ENGENHEIROS E CONSULTORES. **Mapeamento de Inundação do Baixo Rio Jaboatão, em Jaboatão dos Guararapes/PE**. Recife. 2007.

TOMINAGA, E. N. D. S. Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na Fonte. **Dissertação (Mestrado em Engenharia)**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

TRAVASSOS, L. R. F. C. Revelando os rios: novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na cidade de São Paulo. **Tese (Doutorado em Ciências Ambientais)**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 243f.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, 2011. 548 p.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Seminários Redes de Esgoto Sanitários e Galerias de Águas Pluviais: Interferências e Interconexões**, São Paulo, 2004.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, dezembro 1997.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. [S.l.]: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22, p. 97-112, 2008.

VOLSCHAN, I. *et al.* Sistema unitário x sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições brasileiras? **Revista DAE**, São Paulo, v. 2009, n. 180, p. 40-43, maio 2009.