

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**TESE DE DOUTORADO**

**FERRAMENTA SIMPLIFICADA PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS  
HIDROLÓGICOS E DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS  
COMPENSATÓRIAS NA GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS**

**BRUNA LAMOREA VEIGA LOPES**

**SÃO CARLOS – SP**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**TESE DE DOUTORADO**

**FERRAMENTA SIMPLIFICADA PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS  
HIDROLÓGICOS E DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS  
COMPENSATÓRIAS NA GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS**

**BRUNA LAMOREA VEIGA LOPES**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana

Orientador Dr. Bernardo Arantes do N. Teixeira

SÃO CARLOS – SP

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus familiares, em especial meu pai Eduardo Luiz Veiga Lopes e minha mãe Maria do Carmo Lamorea Veiga Lopes, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me incentivando em todas as minhas decisões e realizações de projetos profissionais e pessoais.

Aos meus amigos, que me apoiaram e por toda a ajuda que tive durante esse período, tanto na vida academia como na vida pessoal.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, sempre presente, prestativo e paciente, com enorme dedicação e disposição em ajudar.

Ao PPGEU e ao GHidro pela oportunidade em participar dos programas e adquirir mais conhecimentos e aperfeiçoamentos.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento científico e tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo de Doutorado.

E em memória ao meu querido tio Oswaldo Luiz Veiga Lopes, que sempre torceu muito pelo meu sucesso e celebrou todas as minhas conquistas.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Bruna Lamoréa Veiga Lopes, realizada em 02/12/2025.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira (UFSCar)

Profa. Dra. Anáí Floriano Vasconcelos (UFSCar)

Profa. Dra. Maria Clara Fava (UFSCar)

Profa. Dra. Maria Fernanda Nóbrega dos Santos (Consultora)

Prof. Dr. Jozrael Henriques Rezende (FATEC)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

## RESUMO

A expansão significativa das áreas urbanas faz com que os efeitos negativos das águas pluviais se tornem mais intensos e frequentes. Os sistemas de drenagem pluvial, quando existentes, têm se tornado insuficientes para lidar com vazões e volumes crescentes, além de buscarem somente escoar as águas, transferindo o problema para jusante. Soluções alternativas vêm sendo estudadas e aplicadas, incorporando as etapas de retenção, infiltração e evapotranspiração. As chamadas Técnicas Compensatórias (TC) enquadram-se nessa categoria e vêm sendo adotadas cada vez mais. Entretanto, persistem questões quanto ao seu dimensionamento, seus efeitos hidrológicos e seus custos. A presente pesquisa teve como objetivo propor e aplicar um método que possibilite, de forma rápida e objetiva, avaliar os efeitos decorrentes da implantação de diferentes TC em áreas urbanas. O princípio do método é o de que a principal característica de uma TC para definir seu efeito hidrológico é o volume de retenção, considerando sua capacidade de armazenamento e, em escala bem menor, de infiltração. Para tanto, foi elaborada uma planilha em Excel, onde são introduzidos dados hidrológicos básicos do local, gerando vazões de escoamento superficial que, por sua vez, permitem o dimensionamento de uma Bacia de Retenção (BR) Virtual. Esta BR Virtual serve de referência para a avaliação pretendida, ao se comparar a redução do seu volume pela introdução das TC. A planilha é dividida em abas que facilitam seu uso, tendo sido até o momento introduzidas quatro tipologias de TC: áreas verdes rebaixadas (AVR), poços de infiltração, jardins de chuva e trincheiras. Além dos aspectos hidrológicos, a planilha estima os custos das diversas TC, comparando com os custos da BR Virtual. A planilha foi aplicada em algumas situações urbanas no município de Araraquara – SP, tendo apresentado resultados satisfatórios, com a possibilidade de abordar diferentes cenários de forma rápida. Ao final da Tese, foi também apresentado um conjunto de variáveis e indicadores a serem aplicados especificamente em áreas já urbanizadas e que podem complementar a aplicação da planilha, contribuindo para o planejamento do uso das TC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Técnicas Compensatórias; Drenagem Urbana Sustentável; Bacia de Retenção; Áreas Verdes Rebaixadas; Cálculo Automatizado de Drenagem.

## ABSTRACT

The significant expansion of urban areas has intensified and increased the frequency of the negative impacts associated with stormwater runoff. Stormwater drainage systems, where they exist, have become insufficient to handle growing peak flows and volumes, and they typically aim only to convey runoff downstream, thereby transferring the problem to other areas. Alternative solutions have been studied and implemented, incorporating detention, infiltration, and evapotranspiration processes. So-called Compensatory Techniques (CTs) fall within this category and have been increasingly adopted. However, questions remain regarding their design criteria, hydrological effects, and associated costs. The objective of this research was to propose and apply a method that enables a rapid and objective assessment of the effects resulting from the implementation of different CTs in urban areas. The underlying principle of the method is that the primary characteristic of a CT in defining its hydrological effect is its detention volume, considering its storage capacity and, to a much lesser extent, its infiltration capacity. To this end, an Excel spreadsheet was developed in which basic local hydrological data are entered, generating surface runoff flows that, in turn, allow for the design of a Virtual Detention Basin (VDB). This VDB serves as a reference for the proposed assessment, by comparing the reduction in its required volume resulting from the introduction of CTs. The spreadsheet is organized into tabs to facilitate its use, and four CT typologies have been incorporated to date: depressed green areas, infiltration wells, rain gardens, and trenches. In addition to hydrological aspects, the spreadsheet estimates the costs of the different CTs and compares them with the costs of the Virtual Detention Basin. The tool was applied to several urban situations in the municipality of Araraquara, São Paulo State, Brazil, yielding satisfactory results and demonstrating the ability to analyze different scenarios in a rapid manner. At the conclusion of the dissertation, a set of variables and indicators was also presented for application specifically in already urbanized areas, complementing the spreadsheet's use and contributing to the planning and implementation of Compensatory Techniques.

**KEYWORDS:** Compensatory Techniques; Sustainable Urban Drainage; Detention Basin; Depressed Green Areas; Automated Drainage Calculation.

## Lista de Figuras

<i>Figura 2.1 Boca-de-Lobo e Poço de Visita</i> .....	19
<i>Figura 2.2 Terminologia de drenagem urbana</i> .....	20
<i>Figura 2.3 Tipologias de Técnicas Compensatórias'</i> .....	24
<i>Figura 2.4 Bacia de Detenção em Araraquara - SP</i> .....	25
<i>Figura 2.5 Trincheira de infiltração no campus da UFSCar</i> .....	26
<i>Figura 2.6 Jardim de chuva</i> .....	27
<i>Figura 2.7 Poço de Infiltração no Campus da UFSCar</i> .....	27
<i>Figura 2.8 Exemplo de estacionamento com aplicações de drenagem sustentável</i> .....	29
<i>Figura 2.9 Esquema de biorretenção em área de estacionamento</i> .....	30
<i>Figura 2.10 Esquema de processo de concepção de TC</i> .....	31
<i>Figura 2.11 Infiltração por pavimentos permeáveis</i> .....	33
<i>Figura 2.12 Vista de parte da planilha elaborada por Peroni (2023)</i> .....	39
<i>Figura 2.13 Hidrograma BD B – Arranjo 1</i> .....	40
<i>Figura 2.14 Hidrograma BD B – Arranjo 2</i> .....	40
<i>Figura 2.15 Hidrograma BD B – Arranjo 3</i> .....	41
<i>Figura 2.16 Hidrograma BD B – Arranjo 4</i> .....	41
<i>Figura 3.1 Síntese da pesquisa</i> .....	48
<i>Figura 4.1 Aba de Informações Iniciais</i> .....	54
<i>Figura 4.2 Aba de Cálculos Pluviométricos</i> .....	56
<i>Figura 4.3 Informações Pluviométricas</i> .....	57
<i>Figura 4.4 Máximas intensidades de chuva e altura de chuvas de Araraquara</i> .....	58
<i>Figura 4.5 Equação para cálculo de IDF</i> .....	58
<i>Figura 4.6 Cálculos de Vazão</i> .....	59
<i>Figura 4.7 Ordem de grandeza de diferentes solos</i> .....	59
<i>Figura 4.8 BD Virtual</i> .....	61
<i>Figura 4.9 Comparação de Vazões e Volumes</i> .....	62
<i>Figura 4.10 Gráfico de Vazões</i> .....	62
<i>Figura 4.11 Custo de Implantação</i> .....	63
<i>Figura 4.12 Aba AVR</i> .....	65
<i>Figura 4.13 Parâmetros AVR</i> .....	66
<i>Figura 4.14 Volume total das AVR</i> .....	66
<i>Figura 4.15 Custos de Implantação AVR</i> .....	67
<i>Figura 4.16 Aba Poço de Infiltração</i> .....	68
<i>Figura 4.17 Aba Jardim de Chuva</i> .....	70
<i>Figura 4.18 Aba Trincheira</i> .....	72
<i>Figura 4.19 Aba TC Conjuntas</i> .....	74
<i>Figura 4.20 Jardim da Boa Vista II</i> .....	76
<i>Figura 4.21 Informações Pluviométricas Jardim da Boa Vista II</i> .....	76
<i>Figura 4.22 Cálculos de Vazão Jardim da Boa Vista II</i> .....	77

<i>Figura 4.23 BD Virtual Jardim da Boa Vista II</i> .....	77
<i>Figura 4.24 Custos de Implantação Jardim Boa Vista II</i> .....	78
<i>Figura 4.25 AVR Jardim da Boa Vista II</i> .....	79
<i>Figura 4.26 Volume total de AVR Jardim da Boa Vista II</i> .....	79
<i>Figura 4.27 Custo de Implantação Jardim da Boa Vista II</i> .....	80
<i>Figura 4.28 Área de Contribuição da Aplicação 2 (unidades em metros)</i> .....	81
<i>Figura 4.29 Informações Pluviométricas - Araraquara</i> .....	81
<i>Figura 4.30 Cálculo das Vazões pré e pós ocupação - Araraquara</i> .....	82
<i>Figura 4.31 Cálculo da BD Virtual - Araraquara</i> .....	82
<i>Figura 4.32 Custo de Implantação BD Virtual - Araraquara</i> .....	83
<i>Figura 4.33 Trincheira Araraquara</i> .....	84
<i>Figura 4.34 Volume total Trincheiras - Araraquara</i> .....	84
<i>Figura 4.35 Custo de Implantação Trincheira Araraquara</i> .....	85
<i>Figura 4.36 Poços de Infiltração Araraquara</i> .....	85
<i>Figura 4.37 Volume total poços</i> .....	86
<i>Figura 4.38 Custo de Implantação Poços de Infiltração Araraquara</i> .....	86
<i>Figura 4.39 Avaliação de TC Conjuntas</i> .....	87
<i>Figura 4.40 Praça Popular 2 – Localização</i> .....	88
<i>Figura 4.41 Praça Popular 2 - Vista</i> .....	88
<i>Figura 4.42 Aba de Cálculos Pluviométricos - AVR Praça</i> .....	89
<i>Figura 4.43 Cálculo da BD Virtual - AVR Praça</i> .....	89
<i>Figura 4.44 Custos BD Virtual - AVR Praça</i> .....	90
<i>Figura 4.45 AVR Praça em Araraquara</i> .....	90
<i>Figura 4.46 Volume total da AVR</i> .....	90
<i>Figura 4.47 Custo AVR em Praça</i> .....	91
<i>Figura 4.48 Avaliação TC Conjuntas – Volumes Araraquara</i> .....	91
<i>Figura 5.1 Avaliação TC Conjuntas – Volumes Araraquara</i> .....	101

## **Lista de Tabelas**

<i>Tabela 2.1 Vazões (Q) e Volumes (V) de pré e pós-ocupação para Lote Padrão .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 2.2 Vazões (Q) e Volumes (V) dos Arranjos 1 a 4 para o Setor B.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 2.3 Variáveis Propostas para aplicação de TC em Áreas já Urbanizadas .....</i>	<i>44</i>

## Lista de Siglas e Abreviaturas

AVR: Área verde rebaixada

BD: Bacia de Detenção

BR: Bacia de Retenção

BMP: *Best Management Practices*

LID: *Low Impact Development*

ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PI: Poço de Infiltração

PP: Pavimento Permeável

RI: Reservatório Individual

SBN: Solucoes Baseadas na Natureza

SuDs: *Urban Drainage Systems*

SUSM: *Sustainable urban stormwater management*

SWMM: *Storm Water Management Model*

TC: Técnicas Compensatórias

WSUD: *Water Sensitive Urban Design*

## Sumário

1	Introdução.....	13
1.1	Considerações Iniciais.....	13
1.2	Objetivos.....	16
2	Síntese Bibliográfica .....	17
2.1	Água Pluvial no Meio Urbano.....	17
2.2	Sistema de Drenagem Convencional.....	17
2.3	Sistemas de Manejo Alternativos à Drenagem Urbana Convencional.....	19
2.4	Sistemas de Drenagem com Técnicas Compensatórias.....	22
2.5	Associação de Técnicas Compensatórias .....	28
2.6	Considerações sobre a Utilização de TC .....	30
2.7	Método Simplificado de Cálculo e Avaliação de Combinações de TC .....	33
2.8	Aplicação de TC em áreas já urbanizadas .....	42
3	Metodologia.....	48
3.1	Revisão bibliográfica.....	48
3.2	Desenvolvimento de planilha de trabalho para cálculo dos efeitos das TC ...	49
3.3	Aplicação prática e análise dos resultados .....	50
3.4	Identificação de variáveis e indicadores para áreas já urbanizadas.....	51
4	Resultados e Discussões .....	52
4.1	Desenvolvimento de planilha de trabalho para cálculo de TC .....	52
4.1.1	Aba Informações Iniciais.....	53
4.1.2	Aba Cálculos Pluviométricos .....	55
4.1.3	Aba BD Virtual.....	59
4.1.4	Aba AVR .....	63
4.1.5	Aba Poço de Infiltração .....	67
4.1.6	Aba Jardim de Chuva .....	69
4.1.7	Aba Trincheira.....	71
4.1.8	Aba TC Conjuntas .....	73

4.2	Aplicações da planilha.....	75
4.2.1	Aplicação 1: Loteamento Jardim Boa Vista II .....	75
4.2.2	Aplicação 2: Parte de quadra residencial em Araraquara – SP .....	80
4.2.3	Aplicação 3: AVR em Praça em Araraquara – SP .....	87
4.3	Considerações Gerais sobre a Planilha.....	91
4.4	Sistematização de variáveis e indicadores para áreas já urbanizadas.....	93
5	Conclusões e Recomendações .....	99
6	Referências Bibliográficas.....	102

## 1 Introdução

### 1.1 Considerações Iniciais

Devido à expansão significativa das áreas urbanas ocorrida em todo o mundo nas últimas décadas, associada a processos de desmatamento, ocupação de áreas inadequadas e impermeabilização do solo, entre outros fatores, os efeitos negativos das águas pluviais tornaram-se mais sérios e frequentes. Os sistemas de drenagem pluvial convencionais, quando existem, muitas vezes se mostram insuficientes para lidar com vazões e volumes crescentes, gerando problemas como inundações, alagamentos, erosão, contaminação de corpos hídricos e falta de recarga de aquíferos (TUCCI, 2005; FLETCHER *et al.*, 2015). Além disso, esses sistemas apresentam deficiências conceituais: priorizam o rápido afastamento das águas superficialmente escoadas sem considerar processos como retenção na fonte, infiltração, evapotranspiração, redução de velocidade e desconcentração dos fluxos (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015).

Com a necessidade de soluções inovadoras para enfrentar esses desafios, a partir do final do século XX vêm sendo desenvolvidas e aplicadas técnicas alternativas ao sistema de drenagem convencional. Dentre elas destacam-se as Técnicas Compensatórias (TC), que visam minimizar os impactos da urbanização contemplando, além das diferentes etapas do ciclo hidrológico, uma valorização da presença da água no meio urbano e uma integração urbanística dessas técnicas com espaços de convivência e contemplação para a população, preservando os recursos naturais envolvidos (BAPTISTA *et al.*, 2015). De acordo com Gonçalves *et al.* (2015), as técnicas compensatórias contribuem significativamente para a redução do escoamento superficial e das vazões de pico, além de favorecerem a infiltração e o controle qualitativo das águas pluviais. Esses autores destacam que tais técnicas permitem mitigar impactos decorrentes da impermeabilização do solo, promovendo maior equilíbrio hidrológico nas bacias urbanas.

Nesse contexto, conceitos como o *Low Impact Development* (LID), os *Sustainable Urban Drainage Systems* (SuDS) e o *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) consolidaram-se internacionalmente como abordagens estruturadas de manejo descentralizado das águas pluviais (FLETCHER *et al.*, 2015). Revisões de literatura indicam que tais práticas apresentam eficiência comprovada na redução de volumes escoados e de picos de cheia, além de benefícios ambientais adicionais (DIETZ, 2007). Entretanto, apesar da consolidação conceitual e do avanço técnico, diversos autores destacam que a adoção dessas abordagens ainda encontra barreiras significativas,

especialmente em áreas urbanas consolidadas (BROWN; FARRELLY, 2009; KABISCH *et al.*, 2016).

Nesse cenário, identifica-se um problema central que fundamenta a presente Tese: embora existam evidências técnicas da eficiência hidrológica das TC e abordagens correlatas, sua implementação sistemática permanece limitada, sobretudo em contextos urbanos já consolidados e em municípios com restrições técnicas e financeiras. Estudos apontam que a lacuna não se restringe à ausência de conhecimento hidráulico, mas envolve dificuldades operacionais, institucionais e metodológicas que dificultam a tomada de decisão (BROWN; FARRELLY, 2009). Ferramentas de apoio à decisão disponíveis na literatura frequentemente dependem de modelagens complexas, grande volume de dados espaciais ou métodos multicritério estruturados, cuja aplicação exige alto grau de especialização (CHANG *et al.*, 2018). Tal complexidade, embora cientificamente robusta, pode reduzir sua aplicabilidade prática em realidades municipais onde a disponibilidade de dados e de equipes técnicas é limitada.

Assim, evidencia-se um gap de pesquisa relacionado à ausência de instrumentos metodológicos que conciliem fundamentação técnica consistente com simplicidade operacional, especialmente voltados à avaliação preliminar da viabilidade de Técnicas Compensatórias em áreas já urbanizadas. A literatura oferece modelos detalhados de simulação hidrológica e estruturas multicritério avançadas, porém carece de métodos simplificados que mantenham coerência conceitual e, simultaneamente, ampliem o acesso ao processo decisório (CHANG *et al.*, 2018; FLETCHER *et al.*, 2015).

A hipótese que orienta esta investigação é que a simplificação estruturada do processo decisório: quando baseada em variáveis hidrológicas fundamentais e critérios técnicos consolidados na literatura, não compromete a consistência da análise, podendo inclusive aumentar sua aplicabilidade e potencial de implementação real. Essa hipótese encontra respaldo indireto em estudos que apontam a necessidade de ferramentas mais acessíveis para viabilizar a transição de modelos conceituais de drenagem sustentável para práticas efetivamente implementadas (BROWN; FARRELLY, 2009; KABISCH *et al.*, 2016).

Considerando que uma parcela significativa dos problemas com águas pluviais concentra-se em áreas já urbanizadas, torna-se necessário investigar as possibilidades e limitações do uso das TC e de abordagens LID nessas situações mais complexas. Projetos novos permitem maior liberdade para adotar tais técnicas desde a concepção; entretanto, o desafio contemporâneo reside na adaptação de soluções sustentáveis a

tecidos urbanos consolidados, onde restrições espaciais, conflitos de uso do solo e limitações financeiras são mais evidentes (FLETCHER *et al.*, 2015).

Nesse sentido, Lopes (2021) realizou estudo para gerar variáveis que indicassem os limites e potencialidades da utilização de TC em áreas urbanizadas, apontando quais técnicas se adaptam melhor a determinadas condições. A pesquisa abordada nesta Tese surgiu inicialmente como continuidade desse estudo, com o objetivo de desenvolver as variáveis previamente propostas (e propor novas variáveis), conferindo-lhes maior concretude e condições de quantificação. Para tanto, buscou-se, inicialmente, aplicar o método simplificado desenvolvido na Tese de Peroni (2023). No decorrer da investigação, entretanto, esse método foi reformulado, mantendo seus fundamentos conceituais, mas evoluindo para uma proposta alternativa ainda mais simples e operacionalmente acessível.

Diferentemente de uma mera inclusão de custos de construção em planilha preexistente, a contribuição desta Tese reside na reestruturação metodológica do processo de avaliação, integrando variáveis hidrológicas essenciais, condicionantes espaciais e critérios financeiros preliminares em um modelo de aplicação simplificada. A inovação está na proposição de uma ferramenta que atua como ponte entre o conhecimento técnico consolidado e a prática cotidiana de planejamento urbano, respondendo a gargalos amplamente apontados na literatura quanto à dificuldade de implementação de infraestrutura verde e drenagem sustentável (BROWN; FARRELLY, 2009; CHANG *et al.*, 2018).

Portanto, a presente Tese tem como eixo central o desenvolvimento e a aplicação de um método de cálculo simplificado que permita avaliar, de modo rápido, transparente e tecnicamente fundamentado, os efeitos decorrentes da implantação de Técnicas Compensatórias em áreas urbanas consolidadas, contribuindo para a escolha de alternativas viáveis sob os pontos de vista hidrológico, espacial e econômico, e buscando reduzir a lacuna entre conhecimento científico e aplicabilidade prática no contexto brasileiro.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa foi o de propor e aplicar um método que possibilite o planejamento para a implantação de Técnicas Compensatórias para a gestão de águas pluviais, avaliando seus efeitos e custos, tanto em áreas em urbanização como já urbanizadas.

Para a concretização da proposta desta pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma planilha de trabalho para calcular de forma simples e objetiva a contribuição de implantação de TC, com base nos volumes de retenção e infiltração das águas pluviais.
- Incorporar, no método desenvolvido, aspectos relacionados aos custos da implantação das TC, comparando diferentes situações.

## **2 Síntese Bibliográfica**

### **2.1 Água Pluvial no Meio Urbano**

Com o crescimento das cidades, bairros antigos não conseguiram acompanhar seu desenvolvimento, continuando com características de locais menos urbanizados, como ruas estreitas, calçadas pequenas e com pavimentos irregulares, falta de vegetações pelos quarteirões, dentre outros fatores.

Algumas das características presentes em bairros mais antigos já edificadas e sem possibilidade de uma reestruturação, dificultam o processo de ergonomia urbana, trazendo a necessidade de adaptação da população urbana crescente.

Segundo Batista *et al.* (2015), as primeiras aglomerações urbanas já se localizavam quase sempre junto aos cursos d'água, tendo em vista que a disponibilidade de água favorecia o seu suprimento para consumo e higiene das populações, efetivando ainda a evacuação de dejetos.

Ainda segundo os autores, a urbanização implica, forçosamente, em alterações significativas no meio ambiente, de forma geral, e nos processos hidrológicos, em particular, através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas como um todo. Em um quadro de urbanização crescente, constata-se a obsolescência gradual e inexorável dos sistemas de drenagem implantados segundo a ótica higienista, levando a inundações cada vez mais frequentes em áreas urbanas, com severas implicações sociais, econômicas e políticas decorrentes.

De acordo com Tucci (1997), o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando assim, vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando alterações em seu ciclo.

A urbanização desordenada também pode promover mudanças nos regimes de chuvas, na concentração da poluição do ar, do solo, da água e sonora, na impermeabilização excessiva, na elevação da temperatura e, depredação de áreas externas às cidades para atender as necessidades impostas à ampliação e manutenção da malha urbana.

### **2.2 Sistema de Drenagem Convencional**

Basicamente, um sistema convencional se resume na rápida remoção das águas pluviais em excesso no meio urbano, evitando a ocorrência de inundações urbanas,

acúmulo de água e o escoamento excessivo em termos de volume e velocidade. Esse sistema pode ser dividido em outros dois subsistemas: Microdrenagem e a Macrodrenagem, que são diferenciados entre si.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a microdrenagem é definida pelo sistema de condutos de águas pluviais em nível de loteamento. Os principais métodos utilizados para seu dimensionamento são: redes de galerias, poços de visita, bocas-de-lobo (Figura 2.1), tubos de ligação, sarjetas, meios-fios, condutos forçados, estações de bombeamento, dentre outros, que são descritos a seguir:

- **Redes de Galerias:** São canalizações públicas com a função de conduzir a água pluvial originária de bocas-de-lobo e de ligações particulares;
- **Poço de Visita:** É um dispositivo localizado em pontos estratégicos das redes de galerias, permitindo a mudança de direção, declividade e diâmetro, e auxiliando também para a facilitação de inspeção e limpeza das canalizações;
- **Boca-de-lobo:** É um dispositivo responsável pela captação de água pluvial, localizado em pontos estratégicos nas sarjetas;
- **Tubo de ligação:** São canalizações que conduzem a água pluvial captada pela boca-de-lobo para galerias ou poços de visita;
- **Sarjetas:** São faixas da via pública, localizadas em paralelo e ao lado do meio-fio, cuja função é receptor a água pluvial das ruas;
- **Meio-Fio:** É um elemento de concreto ou pedra, implantado entre o passeio e a via pública, em paralelo com o eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;
- **Condutos Forçados:** São as canalizações destinadas a condução da água pluvial coletada, sem que a capacidade da seção transversal dos condutos seja completamente preenchida;

- **Estações de bombeamento:** São estruturas utilizadas quando há dificuldades no escoamento por gravidade. São responsáveis por transportar a água de um canal de drenagem para outro local mais elevado.

**Figura 2.1 Boca-de-Lobo e Poço de Visita**



Fonte: Cunha, 2018.

As técnicas tradicionais são usadas até os dias de hoje, mas muitas vezes acabam se tornando obsoletas no quesito de sustentabilidade e integração com o meio urbano, além de, algumas vezes, não conseguirem conter o problema de drenagem de diferentes locais.

Segundo Martins (2015), a macrodrenagem é feita essencialmente pela rede de drenagem natural pré-existente, composta pelos cursos d'água naturais ou artificiais, presentes em vales e talvegues. Suas estruturas são responsáveis pela condução final das águas pluviais da microdrenagem. Ainda de acordo com o mesmo autor, as obras de macrodrenagem se constituem na retificação e ampliação das seções de canais naturais, construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões, bem como estruturas de controle, dissipadores de energia, proteção contra erosão e assoreamento, amortecimento de pico, travessias e estação de bombeamento.

### **2.3 Sistemas de Manejo Alternativos à Drenagem Urbana Convencional**

A gestão do escoamento urbano evoluiu do mesmo modo que seus impactos ambientais, resultando na procura por abordagens alternativas para a drenagem urbana, que segundo Fletcher *et al.* (2013), baseiam-se em:

- Gerenciamento do ciclo hidrológico urbano de maneira sustentável;
- Manutenção ou o retorno das condições naturais;

- Proteção e/ou restauração da qualidade da água e dos corpos receptores;
- Conservação dos recursos hídricos, considerando as águas pluviais como um recurso ao invés de um incômodo;
- Melhoramento e amenização da paisagem urbana, com a incorporação de medidas de gestão das águas pluviais com usos múltiplos que beneficiem o entorno.

Além disso, foi discutido pelos autores que com a adoção dessas soluções alternativas, foi possível observar o desenvolvimento e a integração de termos para descrever a concepção da gestão das águas pluviais em meio urbano, destacando-se os conceitos *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), o *Low Impact Development* (LID) e o *Best Management Practices* (BMP).

Ainda de acordo com Fletcher *et al.* (2015), as diferenças que existem entre os termos são sutis e baseadas no desenvolvimento local e no contexto institucional em que são aplicadas. Para melhor entendimento, a Figura 2.2 representa as semelhanças entre as soluções alternativas, onde é demonstrado especificidades e amplitudes de aplicações, sua natureza dinâmica e multidimensional.

**Figura 2.2 Terminologia de drenagem urbana**



Fonte: ROSA, 2024, adaptado.

O *Low Impact Development* (LID) ou em português, Desenvolvimento de Baixo Impacto, é um conceito do qual o termo “desenvolvimento” é referido à “urbanização”, sendo uma abordagem inovadora para o planejamento do espaço urbano. Esse conceito

visa replicar os processos naturais da água, buscando seu gerenciamento próximo de onde começa a precipitação. Segundo a USEPA (2021), os projetos que incorporam esse conceito utilizam de pequenas e simples técnicas de design e características paisagísticas para propiciar a infiltração, armazenamento e evaporação das águas pluviais, desse modo, sendo possível minimizar os impactos das áreas impermeáveis. Deve-se observar que o método *LID* não é um método de gestão de águas pluviais, mas sim de planejamento urbano, que considera tais águas desde a concepção inicial. Portanto, sua aplicação é voltada principalmente para novas urbanizações.

O conceito *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) ou em português, Desenho Urbano Sensível à Água, possui uma estratégia de conciliação entre os aspectos técnicos da drenagem urbana com os aspectos legais, institucionais, econômicos e sociais. De acordo com Rosa (2017) o *WSUD* previa inicialmente objetivos referentes a gestão do balanço hídrico, incentivo à preservação da água, conservação e possivelmente às melhorias da qualidade e manutenção ambientais relacionadas à água. Com o aprimoramento deste conceito, o mesmo começou a englobar aspectos da gestão do ciclo da água no meio urbano, incluindo o abastecimento de água, esgoto sanitário e o manejo de águas pluviais. No geral, este conceito tem como objetivo a redução da demanda de água por água potável e a geração de águas residuais, tratamento das águas pluviais e residuais, a padrões que possibilitem seus aproveitamentos, a utilização da água pluvial para fins paisagísticos e recreativos e, o gerenciamento dos fluxos de águas pluviais no meio urbano.

E, o conceito *Best Management Practices* (BMP) ou em português, Melhores Práticas de Gestão surgiu originalmente para se referir a medidas adotadas no tratamento de efluentes e na prevenção da poluição na indústria. Posteriormente, o conceito foi expandido para incluir a drenagem urbana, dando origem ao termo *Stormwater BMP*. Essa abordagem tem como objetivo principal diminuir a contaminação das águas pluviais, reduzindo a exposição delas a poluentes. Atualmente, as *BMPs* também consideram medidas estruturais para armazenar e tratar as águas pluviais, buscando não só a redução da poluição, mas também o controle da erosão, das inundações e a recarga do lençol freático. Em muitos casos, é mais eficaz e econômico evitar a entrada de poluentes no sistema de drenagem do que aplicar soluções estruturais posteriormente (ROSA, 2017).

De acordo com Fletcher *et al.* (2015), o termo Técnicas Alternativas começou a ser empregado para indicar uma nova abordagem à drenagem urbana tradicional, com o

objetivo de neutralizar os impactos da expansão urbana, otimizar o uso do solo urbano e limitar os recursos financeiros de investimento.

Além das citadas anteriormente, vale ressaltar também sobre as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que constituem estratégias que utilizam processos ecológicos e serviços ecossistêmicos para enfrentar desafios sociais contemporâneos de maneira sustentável e integrada. O conceito foi sistematizado pela *International Union for Conservation of Nature* (IUCN, 2020), que define SBN como ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, abordando desafios como mudanças climáticas, segurança hídrica, gestão de riscos de desastres e saúde pública, ao mesmo tempo em que promovem benefícios para a biodiversidade e o bem-estar humano. No contexto urbano, as SBN incluem intervenções como jardins de chuva, parques lineares, telhados verdes e recuperação de áreas ripárias, contribuindo para a infiltração da água, redução do escoamento superficial, melhoria da qualidade hídrica e aumento da resiliência frente a eventos extremos (GIZ, 2024). Essas estratégias estão diretamente alinhadas aos objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água para todos, e para o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), que trata da redução de impactos ambientais urbanos e da adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, as SBN representam uma abordagem integrada que conecta conservação ambiental, gestão hídrica e planejamento urbano sustentável, fortalecendo políticas públicas voltadas à segurança hídrica e à adaptação climática (ONU, 2015).

Embora a expressão Soluções Baseadas na Natureza (SBN) já esteja sendo bastante empregada e sendo objeto de normatização (CGEE, 2021; BRASIL, 2024), no presente trabalho optou-se por manter o termo Técnica Compensatória (TC), por ser mais específico para as soluções aqui estudadas, não impedindo, entretanto, que a ferramenta desenvolvida seja aplicada num contexto mais amplo contemplado pelas SBN.

#### **2.4 Sistemas de Drenagem com Técnicas Compensatórias**

Com as diversas dificuldades que começaram a aparecer com o crescimento das cidades, principalmente pelo problema da impermeabilização do solo, discussões sobre meios mais sustentáveis de drenagem começaram a surgir.

O manejo sustentável de águas pluviais urbanas (*Sustainable urban stormwater management - SUSM*), vem sendo estudado cada vez mais frequentemente como alternativa de substituição para as técnicas de drenagem convencionais, para tentar responder questões como falta de padrões de projeto e manutenção, falta de planejamento em longo prazo, falta de divulgação e conhecimento, resistência a mudanças e falta de incentivos (Vasconcelos, 2021).

Os sistemas de drenagem mais sustentáveis são aqueles que se adaptam melhor ao meio urbano, trazendo harmonia das cidades com o meio ambiente, além de solucionar o problema principal que é a redução da vazão de pico da água de chuva.

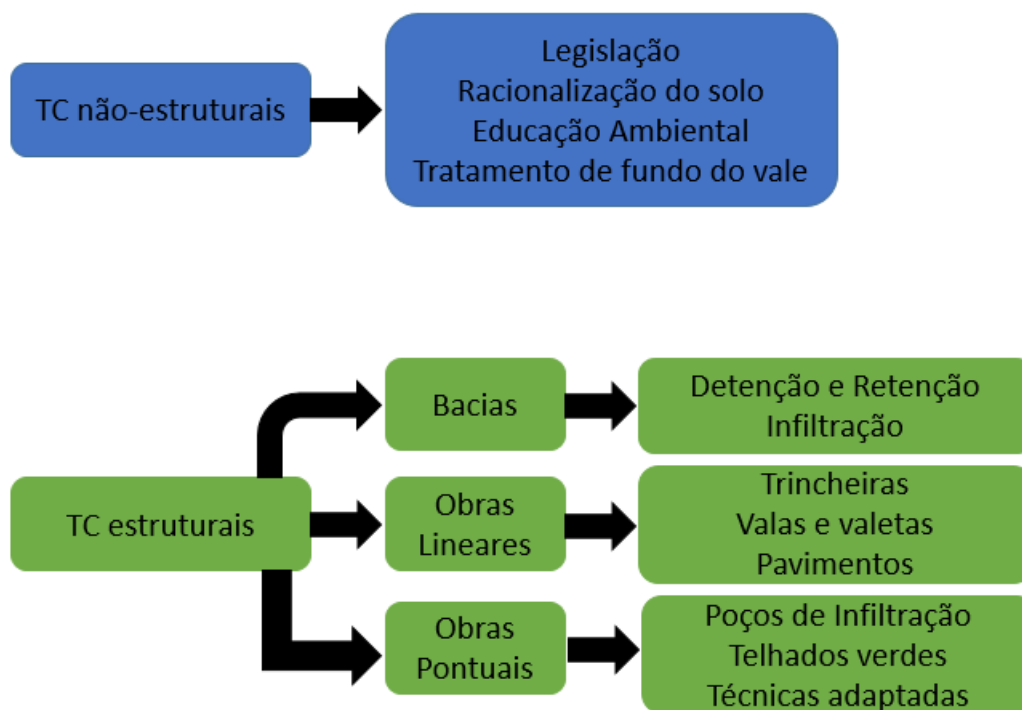
Diversas técnicas começaram a aparecer, trazendo soluções para integrar o meio hídrico, ecológico e urbano, melhorando a viabilidade e a estética dos municípios, juntamente com suas utilizações multifuncionais, onde podem ser inseridas em locais já existentes em um meio já urbanizado, planejadas para um meio a ser urbanizado ou rearranjadas em um ambiente em reurbanização (MAI *et al.*, 2018).

Uma das principais características destes sistemas de drenagem são as diversas alternativas facilitadoras, trazendo maior sustentabilidade ao meio urbano e aspectos agradáveis para a população que irá usufruir delas.

De acordo com o Guia de Desenho de Sistemas de Drenagem Pluvial de Madrid (2018), a utilização da água no meio urbano, trazendo a junção do paisagismo integrado com a cidade, faz com que se tenha melhor qualidade de vida, assim, vivendo com mais conforto em ambientes que normalmente são chamados de caóticos devido a sua densidade urbana.

Desde meados da década de 1970 estão sendo desenvolvidas Técnicas Compensatórias (TC) de drenagem em diferentes concepções quanto ao porte e a localização das estruturas. O objetivo das TC é de compensar ou minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico urbano, trazendo benefícios à qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente (BAPTISTA *et al.*, 2015). De acordo com o autor, as TC são distintas basicamente quanto ao seu caráter estrutural ou não estrutural, como representado na Figura 2.3.

**Figura 2.3 Tipologias de Técnicas Compensatórias'**



Fonte: Baptista et al, 2015, adaptado.

Segundo Baptista *et al.* (2015), as técnicas compensatórias estruturais se dividem em três: centralizadas, lineares e pontuais.

As técnicas de controle centralizado são basicamente, as bacias de retenção e de detenção (BD), associadas com áreas de drenagem de maior porte, com estruturas que permitem diversas configurações, com a associação ou não do armazenamento e infiltração, e visando a minimização de enchentes no meio urbano, redução do volume de escoamento superficial e a redução da poluição de origem pluvial (BAPTISTA *et al.*, 2015).

A Figura 2.4 é um exemplo mais comum de bacias de detenção que se tem na região de Araraquara-SP, onde são implantadas em espaços abertos com vegetação local e grama.

**Figura 2.4 Bacia de Detenção em Araraquara - SP**

Fonte: PERONI, 2018.

Deve-se observar que em alguns contextos, sobretudo em outros países, as BD já não são mais consideradas como soluções alternativas, mas como parte integrante do sistema de drenagem convencional, passando a ser obrigatórias. Algumas normas municipais no Brasil também passaram a ter essa exigência, embora na prática as BD continuem a ser tratadas como uma solução “alternativa”.

As técnicas de controle lineares são estruturas que possuem dimensão longitudinal com maior relevância do que a sua largura e comprimento, favorecendo assim, a possibilidade de sua associação com o sistema viário, ou até mesmo, substituindo o sistema convencional de drenagem. Essa técnica é referente a estruturas como trincheiras, valas, valetas e pavimentos permeáveis e reservatórios.

Segundo Baptista *et al.* (2015), a implantação de trincheiras acarreta diversos benefícios como a redução das dimensões do sistema convencional de drenagem, ganhos ambientais por causa da recarga do lençol freático e redução da carga de poluição de origem pluvial. E é válido destacar sua facilidade de implantação, mesmo que com a necessidade de manutenção periódica, restrições de implantação em áreas com acentuada declividade e risco de poluição do lençol freático, para as trincheiras de infiltração.

Na Figura 2.5 é mostrado uma trincheira de infiltração localizada no campus da UFSCar de São Carlos.

**Figura 2.5** Trincheira de infiltração no campus da UFSCar



Fonte: Lucas, 2011.

Ainda segundo Baptista *et al.* (2015), as técnicas localizadas ou pontuais necessitam de espaços superficiais e reduzidos para drenarem áreas de pequeno e médio porte. Elas são classificadas por poços de infiltração, telhados de cobertura vegetal e reservatórios individuais, que, além do controle da produção de escoamento, possibilitam a utilização das águas pluviais.

De acordo com Marostica & Silveira (2024), os jardins de chuva também são uma alternativa sustentável para o uso de gestão de águas pluviais, demonstrando impacto na redução de velocidade e na retenção e infiltração do escoamento superficial, além de permitir uma integração paisagística interessante ao meio urbano (Figura 2.6).

**Figura 2.6 Jardim de chuva**



Fonte: Easton Washington, 2013.

Poços de infiltração (PI) são uma estrutura que consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos, também envolta por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração, para o solo, do volume de água pluvial escoado para o seu interior (REIS *et al.*, 2008).

Na Figura 2.7 é possível observar um poço de infiltração localizado no Campus da UFSCar em São Carlos.

**Figura 2.7 Poço de Infiltração no Campus da UFSCar**



Fonte: Santos *et al.*, 2016.

Neste trabalho, também foi abordada a utilização de Áreas Verdes Rebaixadas (AVR) como uma TC que pode ser implantada de diversas maneiras, devido a sua flexibilidade e variação nas dimensões, além da integração no espaço urbano (Peroni, 2023). As AVR são quaisquer áreas cobertas por vegetação, principalmente gramados, que apresentam um nível inferior ao seu entorno (da ordem de centímetros), recebendo o fluxo do escoamento superficial de áreas contíguas. Alguns autores referem-se ao mesmo tipo de TC como leira vegetada ou micro reservatórios, podendo contemplar também valas ou valetas de infiltração.

## **2.5 Associação de Técnicas Compensatórias**

É relevante citar que uma solução para problemas de drenagem utilizando as TC também é a sua associação, podendo-se utilizar duas ou mais TC para minimizar ou sanar um problema de drenagem urbana.

De acordo com Lopes (2021), áreas com disponibilidade de estacionamento normalmente são mais apropriadas para conseguir implantar TC, pois possuem espaços disponíveis e seus esforços e vibrações não são extremos como em ruas movimentadas.

Ainda segunda a autora, a associação de pavimentos permeáveis com diferentes graus de drenagem e de porosidade, juntamente com a utilização de pequenos jardins de drenagem, definem um contraste que vai além da sustentabilidade, mas também da estética da mobilidade urbana e ecológica do local.

Na Figura 2.8, o manual *LID* de *Easton Washington* (2013) descreveu a utilização de estacionamento sustentável, juntando desde diferentes pavimentos permeáveis, plantas para o auxílio da infiltração da água da chuva e canteiros de drenagem, como o descrito anteriormente.

**Figura 2.8 Exemplo de estacionamento com aplicações de drenagem sustentável**

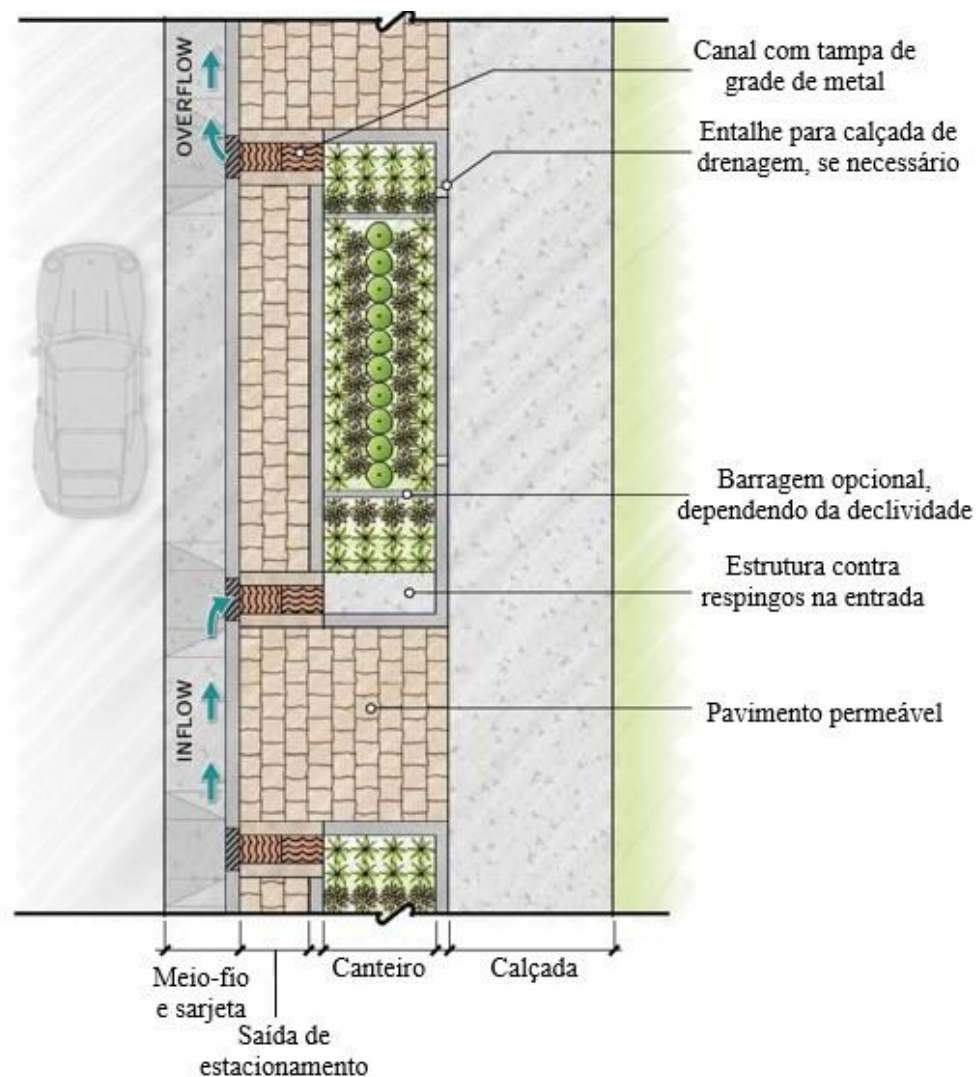


Fonte: Easton Washington traduzida, 2013.

A Figura 2.9 demonstra um exemplo retirado da cidade de *Portland*, nos Estados Unidos da América, abordando como a sustentabilidade e o meio urbano podem ser integrados com facilidade em um mesmo local.

O esquema mostra a utilização de pavimentos permeáveis juntamente com estruturas de canteiros gramados, que facilitam a infiltração da água escoada no local, além da declividade das sarjetas que são direcionadas para encaminhar essas águas até os locais de drenagem.

**Figura 2.9** Esquema de biorretenção em área de estacionamento



Fonte: Easton Washington traduzida, 2013.

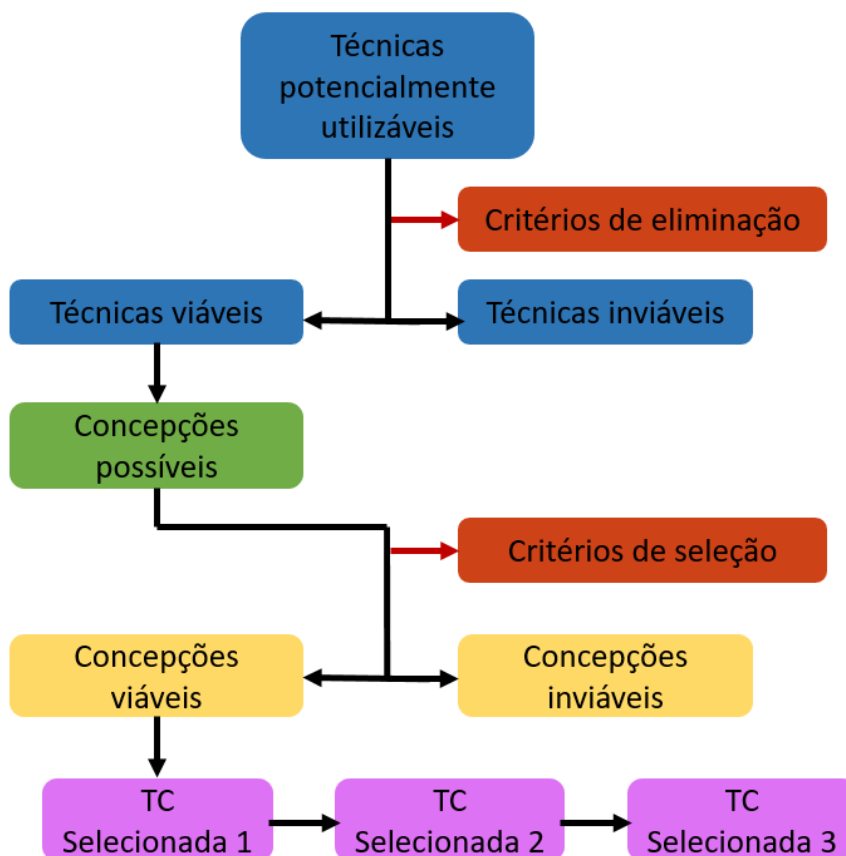
A utilização de esquinas com canteiros vegetados são soluções em que os jardins de chuva (JC) podem apresentar boa funcionalidade e integração com entorno, podendo apresentar associação com outras TC, como valetas gramas nas laterais das áreas de estacionamento, que auxiliam na drenagem da água escoada (LOPES, 2021).

## 2.6 Considerações sobre a Utilização de TC

O uso de tecnologias de controle de enchentes está se tornando mais comum nas cidades brasileiras de médio porte, devido ao aumento da frequência e gravidade das inundações. A pressão política e social para que os centros urbanos se adaptem às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos tem impulsionado a adoção de métodos alternativos para lidar com as águas pluviais. Segundo Baptista, Nascimento e

Barraud (2015), as dificuldades para avançar no uso extensivo de tecnologias de controle de enchentes estão relacionadas à escolha das técnicas mais adequadas para cada área e à avaliação dos cenários viáveis. Os autores apresentam um esquema geral para orientar a escolha das técnicas na Figura 2.10.

**Figura 2.10** Esquema de processo de concepção de TC



Fonte: Baptista et al, 2015, adaptado.

Na Figura 2.10, pode-se observar que a concepção de um sistema compensatório envolve dois aspectos principais: a eliminação e a tomada de decisão técnica, baseada em critérios específicos. Enquanto a eliminação de alternativas inviáveis garante a eficácia da técnica, a tomada de decisão permite a seleção de técnicas ou cenários que atendam às necessidades e objetivos desejados.

De acordo com Niemczynowicz (1999), a hidrologia urbana terá um papel cada vez mais importante no desempenho da sustentabilidade e da sociedade humana, e com o crescimento acelerado da população e o aumento da área superficial pavimentada, a permeabilidade do solo e a infiltração diminuem, acelerando o escoamento superficial causando danos desastrosos em toda a bacia hidrográfica.

As TC são um sistema técnico sócioecológico que podem ser utilizadas na melhoria do ecossistema e tecnologias de serviços de drenagem urbana a serem incorporadas no planejamento, gestão e design urbano (MCPHEARSON *et al.*, 2022). Esses sistemas urbanos podem ser sua contribuição individual ou associadas, trazendo maiores benefícios a população e a estética local.

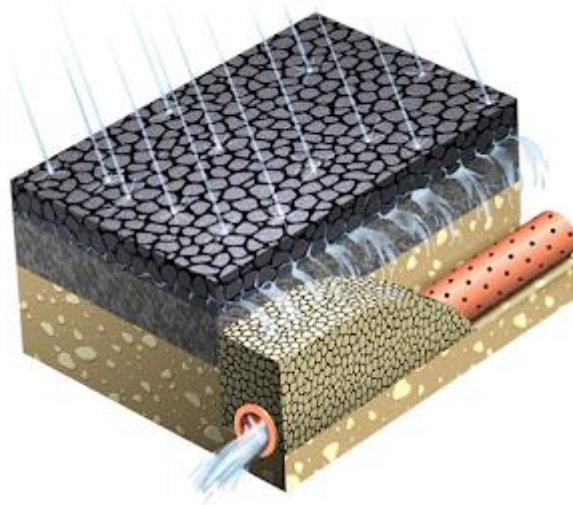
Segundo McPherson *et al.* (2022), a resiliência dos sistemas de drenagem como as TC em meios urbanos pode ser melhorada fornecendo múltiplos serviços ecossistêmicos, oferecendo múltiplas funções e adaptando sua flexibilidade para lidar com condições futuras incertas de modo que infraestruturas usuais não conseguiriam. A utilização de TC nos meios urbanos pode explorar perspectivas melhores no planejamento urbano, ecologia urbana, design urbano, arquitetura paisagística, melhora das condições climáticas locais, dentre outras, maximizando os benefícios para as pessoas, meio ambiente e os custos dos prejuízos causados por enchentes e inundações locais.

A utilização de TC em meios urbanos, como a implementação de telhados verdes, bacias de retenção ou outros sistemas de drenagem urbana sustentáveis, tem o potencial de gerar grandes benefícios socioeconômicos a curto, médio e longo prazo (MAES & JACOBS, 2017). Essas soluções baseadas na natureza podem ajudar a população a ter espaços operacionais seguros, melhorar a sustentabilidade ecológica e social local e ter um retorno econômico a longo prazo.

Algumas TC como jardins de chuvas ou valas gramadas, além da possibilidade de integração na paisagem das cidades, conseguem reduzir os impactos das águas de chuva no solo e também, ajudam a infiltração de água de melhor qualidade no solo (SHAFIQUE & KIM, 2017). Essas TC podem ser implantadas de diversos tamanhos e vegetações, variando assim seus custos, onde podem gerar significativas reduções em seus valores.

Ainda segundo Shafique & Kim (2017), é descrito na Figura 2.11 que pavimentos permeáveis em estacionamentos onde a água infiltrada pode ser facilmente conectada à rede de esgoto local, facilitando seu controle e despejo.

**Figura 2.11 Infiltração por pavimentos permeáveis**



Fonte: Google Imagens, 2026.

Como as TC são estruturas que, além de ajudarem na integração do meio ambiente ecológico no ambiente urbanizado, a possibilidade de integração entre si facilita a contenção de custos, tornando-as mais atrativas a serem utilizadas.

Um estudo realizado por *Matin et al.* (2015) na bacia hidrográfica do Lago Thunderbird, localizada no centro de Oklahoma, Estados Unidos da América, mostrou que a utilização de vala gramada e jardim de chuva tem se mostrado altamente eficientes em áreas urbanas, tanto para o escoamento superficial (uma redução de 89% e 58%, respectivamente) quanto para a redução de poluentes. *Mai et al.* (2018) também concluiu através de estudos na bacia Bunus em Kuala Lumpur, Málásia, que a utilização dessas TC representa uma remoção de sedimentos suspensos e nitrogênio total (sendo 40% para vala e 30% para jardim de chuva) para diferentes quantidades de chuva, se tornando métodos eficientes independente da quantidade de chuva.

## **2.7 Método Simplificado de Cálculo e Avaliação de Combinações de TC**

O levantamento bibliográfico permitiu identificar metodologias que poderiam ser mais adequadas ao contexto do presente estudo, priorizando aquelas que apresentassem simplicidade de aplicação, coerência técnica e potencial de automatização.

Foram encontrados alguns artigos referentes a ferramentas simplificadas para o auxílio de implantação de TC, como o PLANSUDS – Ferramenta de apoio à decisão para TC (*Tsuji et al.*, 2024), Modelos Multicritérios para Seleção de TC (*Coelho & Henriques*, 2017), Modelo AHP (*Analytic Hierarchy Process*), Análise Multicritério

com SIG para Localização de Técnicas Compensatórias (Macedo & Rodrigues, 2024), Ferramentas Genéricas de Apoio à Decisão (como *Ecosystem Management Decision Support – EMDS* e o Sistema de Informação Geográfica – SIG) e também, ferramentas do tipo *Decision support tools* (DSTs) que auxiliam no gerenciamento sustentável de águas pluviais e sua avaliação de sustentabilidade.

Diante do enfrentamento que grande parte dessas ferramentas exige elevado nível de especialização técnica, disponibilidade de dados detalhados (cartográficos, hidrológicos, geotécnicos e socioeconômicos), softwares específicos e, em alguns casos, integração com modelos computacionais complexos, como o SWMM (*Storm Water Management Model*). Além disso, métodos multicritério estruturados demandam definição rigorosa de pesos, calibração de parâmetros e validação técnica, o que pode introduzir subjetividade e aumentar o tempo de aplicação. Tais exigências acabam restringindo sua utilização a ambientes acadêmicos ou a órgãos técnicos altamente estruturados.

Outro aspecto relevante é que muitos modelos existentes priorizam análises comparativas complexas entre múltiplos cenários, mas nem sempre oferecem uma ferramenta de uso rápido e acessível para fases preliminares de planejamento ou para apoio a decisões em contextos com escassez de dados. Em situações reais de gestão urbana, especialmente em áreas já consolidadas, a tomada de decisão frequentemente ocorre sob restrições de tempo, orçamento e disponibilidade de informações.

Alem disso, é possível ressaltar o estudo feito por SANTOS (2018), numa juncao da utilizacao da modelagem de diferentes cenarios utilizando o software SWMM, a Avaliacao do Ciclo de Vida (ACV) e o Custeio do Ciclo de Vida (CCV) referente tecnicas como *LID* como premissa de minimizar os impactos de aguas urbanas, mas tambem adicionando diferentes cenarios.

Dessa forma, justifica-se o desenvolvimento de um método simplificado que mantenha coerência técnica e base conceitual consistente, mas que reduza a complexidade operacional, minimize a necessidade de dados avançados e permita aplicação por profissionais não especialistas. A proposta de uma ferramenta mais simples não visa substituir métodos multicritério robustos ou modelagens detalhadas, mas sim preencher uma lacuna entre o conhecimento técnico consolidado e sua aplicabilidade prática, ampliando o acesso ao processo decisório e favorecendo a difusão das técnicas compensatórias.

Assim, a simplificação metodológica proposta nesta Tese constitui uma estratégia deliberada de democratização da ferramenta de análise, tornando-a mais adaptável à realidade institucional e técnica brasileira, sem comprometer sua capacidade de orientar escolhas fundamentadas.

Deste modo, a presente Tese utilizou como referência inicial o Método desenvolvido por Peroni (2023), que atende as condições descritas e que será a seguir apresentado.

A referida autora realizou a proposição e aplicação de um Método Simplificado de Cálculo e Avaliação do uso combinado de TC, para que o armazenamento temporário e/ou infiltração deve ser estudado/planejado desde a escala lote e com o aproveitamento de áreas públicas disponíveis. Embora possa ser aplicado para diversas tipologias de TC, a autora concentrou seu estudo nas Áreas Verdes Rebaixadas (AVR), e fez arranjos de simulações em três áreas de estudo, com uso e ocupação do solo distintas, todas convergindo para a utilização de Bacias de Detenção (BD) ao final do fluxo das águas pluviais.

Para avaliar os efeitos decorrentes das diferentes combinações de AVR, o parâmetro de comparação adotado foi a redução das dimensões da BD, observando a defasagem dos tempos de escoamento, que dependiam das dimensões e localização das AVR. Com essa análise, a autora conseguiu os resultados da implementação de estruturas de armazenamento e infiltração em diferentes escalas, mostrando, como já esperado, que as combinações de TC podem influenciar na redução do volume de escoamento superficial e no retardamento da vazão de pico. Como fator adicional, seu método permite avaliar quantitativamente os efeitos resultantes.

Com isso, o desenvolvimento de um método simplificado de cálculo e avaliação das TC gerou um instrumento facilitador para o estudo do emprego das mesmas, podendo ser utilizadas de formas isoladas ou combinadas, com diversas possibilidades, principalmente em uma área já urbanizada.

Para o desenvolvimento do método simplificado de cálculo e avaliação das TC, Peroni (2023) estruturou esse método proposto, com fluxograma e planilha de cálculo, definindo arranjos para diferentes cenários em áreas selecionadas para estudo de caso e obtendo resultados dessas aplicações em diferentes situações, como seus hidrogramas e diferenças de volumes de BD.

Essa opção por utilizar o volume da BD como parâmetro de controle, proposto por Peroni (2023), foi mantida na ferramenta desenvolvida na presente tese dando

origem ao conceito de Bacia de Detenção Virtual (BD Virtual), que será apresentado posteriormente.

Para o método de avaliação, foi elaborada uma estrutura com etapas gerais do método de cálculo e avaliação das TC, como apresentado no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1 Etapas Gerais do Método de Cálculo e Avaliação das TC**

<b>1<sup>a</sup></b> <b>Etapas:</b>	<b>1.1. Caracterização e Análise da Área de Projeto</b>  1.1.1. Dados físicos, ambientais e urbanísticos 1.1.2. Parâmetros hidrológicos e hidráulicos
<b>2<sup>a</sup></b> <b>Etapas:</b>	<b>2.1. Proposição de Arranjos de Simulação</b>  2.1.1. Arranjo N; Arranjo N+1; Arranjo N+(...)
<b>3<sup>a</sup></b> <b>Etapas:</b>	<b>3.1. Condições Pré e Pós-Ocupação para os Arranjos</b>  3.1.1. Cálculos de vazões e volumes
<b>4<sup>a</sup></b> <b>Etapas:</b>	<b>4.1. Tempos de Percurso / Permanência d'água</b>  4.1.1. Tempo de Concentração, de Trânsito ou de Enchimento nas AVR
<b>5<sup>a</sup></b> <b>Etapas:</b>	<b>5.1. Hidrogramas de entrada e de saída da BD</b>  5.1.1. Vazões e tempos para cada área de contribuição (Volume de Detenção)

Fonte: PERONI (2023)

Em resumo, primeiramente foram contemplados os dados como uso e ocupação do solo; projeto e desenho urbanístico; legislações municipais; dimensões do empreendimento; cotas topográficas; disponibilidade de áreas públicas e permeáveis. E, além dos parâmetros hidrológicos foram feitas as determinações dos coeficientes de Runoff e a delimitação das áreas de contribuição e definição do caminamento do escoamento superficial.

Após essa primeira etapa, foram propostos arranjos com formas possíveis de considerar condições passadas, anteriores à urbanização; índice de permeabilidade atuais; e situações futuras, com o uso isolado e/ou combinado de Áreas Verdes Rebaixadas (AVR).

Com isso, foi possível realizar o cálculo de vazões e volumes para as condições de uso e ocupação do solo, anteriores e posteriores a impermeabilização, utilizando um método racional, recomendado para bacias com áreas inferiores a 2 km. Desse modo, foi considerado a duração da chuva de projeto igual ao tempo de concentração da bacia, garantindo a inclusão das condições mais críticas em bacias pequenas – chuvas com pequena duração e grande intensidade (BRASIL, 2021). Sua equação é apresentada a seguir:

$$Q_{m^3/s} = \frac{C \cdot I \cdot A}{(1000/3600)}$$

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade pluviométrica (mm/h)

A = área de contribuição (m<sup>2</sup>)

A adoção do coeficiente de escoamento “C” depende das características físicas e ambientais de cada localidade, como o tipo de solo e cobertura, e o uso e ocupação do solo. Inclusive na determinação do volume de bacias de retenção, o C será o parâmetro a diferenciar os cenários de pré e de pós-urbanização, conforme apresentado a seguir:

#### Equação 2.2 Cálculo de Vazões

##### a) Vazão da área pré-urbanizada (m<sup>3</sup>/s) – Q<sub>1</sub>

Aplicação da Equação 4.1 com um C<sub>eq</sub> = coef. de escoamento superficial característico à cobertura antes da urbanização.

##### b) Vazão da área pós-urbanizada (m<sup>3</sup>/s) – Q<sub>2</sub>

Aplicação da Equação 4.1 com um C<sub>eq</sub> = coef. de escoamento superficial proporcional às áreas do empreendimento (após a urbanização).

##### c) Volume de retenção (m<sup>3</sup>)

(Equação 4.2)

$$V_{det} = (Q_2 - Q_1) \cdot d \cdot 60$$

d = tempo de duração da chuva de projeto (min)

Fonte: PERONI, CSL; TEIXEIRA, BAN (2023)

Para a determinação do tempo de percurso da água nos trechos de galerias foi realizado a seguinte sequência de cálculo:

- 1) Equação de Manning

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{i}} = A \cdot R_h^{\left(\frac{2}{3}\right)}$$

**Onde:** Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

i = declividade (m/m)

A = área molhada (m<sup>2</sup>)

R<sub>h</sub> = raio hidráulico (razão entre a área molhada e o perímetro molhado)

2) Tabelas e Ábacos dos Elementos Hidráulicos de Seção Circular:

$$\frac{y}{\varnothing} ; \frac{Q}{Q_{pl}} ; \frac{v}{v_{pl}} ; \frac{Rh}{Rh_{pl}}$$

**Onde:** y = lâmina d'água

∅ = diâmetro

Q = vazão

Q<sub>pl</sub> = vazão plena

v = velocidade

v<sub>pl</sub> = velocidade plena

R<sub>h</sub> = vazão

R<sub>hpl</sub> = raio hidráulico pleno.

3) Verificação dos parâmetros hidráulicos da rede: 0,75 m/s < velocidade > 5,0 m/s;

$$\frac{y}{\varnothing} \leq 0,75 \text{ e declividade (i) mínima} = 0,5 \text{ \%}.$$

4) Cálculo do tempo de trânsito da água nos trechos da galeria:

$$v = L \cdot t \quad \rightarrow \quad t = \frac{v}{L}$$

**Onde:**

v = velocidade (m/s); t = tempo de trânsito (s); L = comprimento do trecho (m).

O tempo de enchimento das Áreas Verdes Rebaixadas – AVR foi determinado pela razão entre volume da AVR e a vazão de entrada na AVR (pós-urbanização), convertendo segundos para minutos. Esse procedimento foi o mesmo para as AVR nos lotes e para as públicas.

Após a utilização dos cálculos e as simulações construídas para indicar o comportamento hidrológico de entrada e saída de BD, foi possível ilustrar o efeito do tempo de enchimento das AVR no retardamento do pico de vazão.

Para todo o processamento de dados e cálculos, Peroni (2023) empregou uma Planilha Eletrônica (Excel), como uma ferramenta difundida e de fácil uso e manuseio para propor uma maneira simples de dimensionar e analisar a disposição isolada,

combinada e/ou distribuída de AVR distribuídas, permitindo identificar, de acordo com as características da área de projeto, qual a melhor alternativa. A Figura 2.12 apresenta uma vista de parte da planilha elaborada.

**Figura 2.12 Vista de parte da planilha elaborada por Peroni (2023)**

MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO E DE AVALIAÇÃO DA COMBINAÇÃO DE TC EM ESCALA DE LOTEAMENTO			
EMPREENDIMENTO:	JD BOA VISTA II	DATA:	10/08/23
PROJETO:	SETOR A	REVISÃO:	REV1
<b>1. Dados Gerais</b>			
Município:	Araraquara		
Loteamento:	Jardim Boa Vista II		
Tipo de ocupação:	Loteamento aberto		
Tipo de uso predominante:	Residencial		
Índice de Permeabilidade - IP Lote(%):	30		
Índice de Permeabilidade - IP Passeio(%):	0		
Índice de Permeabilidade - IP Rua(%):	0		
<b>2. Equação IDF - Precipitação</b>			
I = intensidade da precipitação (mm/h) =	96,16	(Equação IDF de Araraquara)	
Tr = Tempo de retorno (anos) =	10		
t = duração da chuva (min) =	30		
tc = tempo de concentração (min): tc = t			
Tc calculado	Califórnia Kirpich		
<b>3. Coeficiente escoamento superficial</b>			
Terreno natural	C1	0,20	
Sistema Viário: Vias/Passeios	C2	0,95	
Área Verde	C3	0,30	
Área Institucional	C4	0,60	
Área de lotes	C5	0,80	

Fonte: Peroni, 2023.

Peroni (2023) simulou o cálculo para o Loteamento Jardim Boa Vista II, localizado no município de Araraquara – SP, utilizando uma intensidade de precipitação  $I = 96,16$  mm/h, com tempo de retorno em anos de  $Tr = 10$  e tempo de duração da chuva em minutos em  $t = 30$ , considerando as áreas de lote (10m x 20m), passeio (8m x 10m) e rua 4,5m x 10m), resultando nos valores de vazão, volume e tempo de enchimento. Em seu estudo, a autora referiu dados para condições de pré e pós ocupação e utilizou de situações do uso de Áreas Verdes Rebaixadas (AVR) como auxílio, resumidas na Tabela 2.2

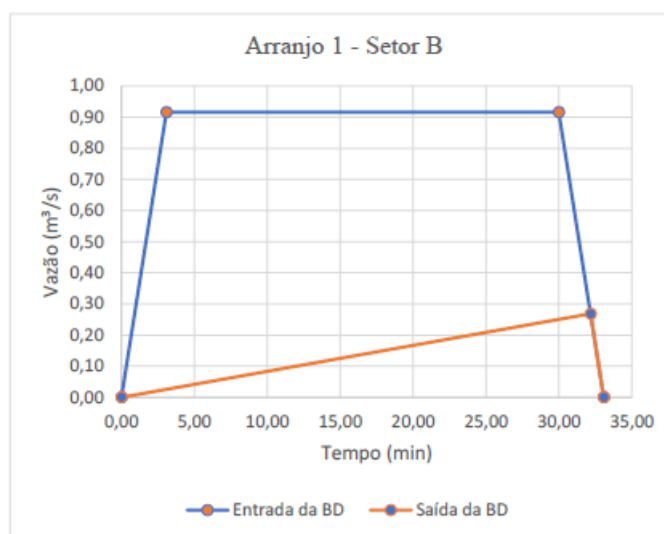
**Tabela 2.1 Vazões (Q) e Volumes (V) de pré e pós-ocupação para Lote Padrão**

Escala	Pré-ocupação		Pós-ocupação <u>Sem AVR</u>		Pós-ocupação <u>Com AVR</u>		
	$Q_{pré}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_{pré}$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{1pós}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_{1pós}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{avr}$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{2pós}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_{2pós}$ (m <sup>3</sup> )
Lote	0,0011	1,92	0,0043	7,69	3,6	0,0043	4,09
Passeio	0,0001	0,17	0,0005	0,82	0,0	0,0005	0,82
Rua	0,0002	0,40	0,0011	1,92	0,0	0,0011	1,92
Lote Padrão	0,0014	2,50	0,0058	10,43	3,6	0,0058	6,83

Fonte: Peroni, 2023.

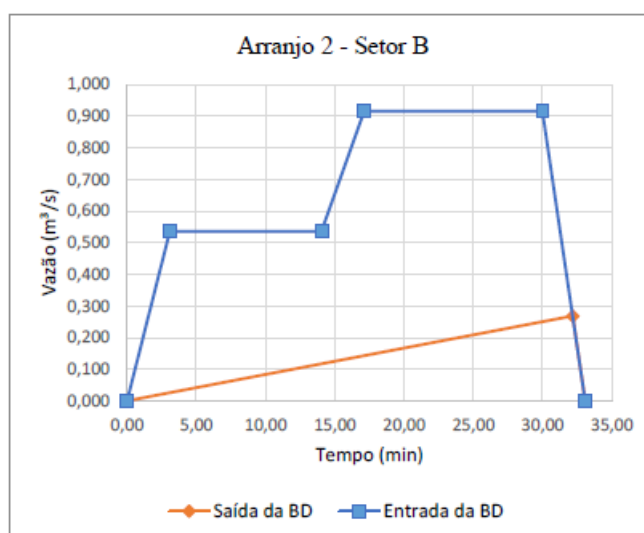
Para as simulações, Peroni (2023) separou os setores por arranjos para facilitar a análise dos dados para cada situação. Usando como exemplo o Setor B estudado, com uma área total de 55.140,34 m<sup>2</sup>, onde possuem 89 lotes residenciais, uma área institucional de 14.888,22m<sup>2</sup>, uma área verde de 9.241,18 m<sup>2</sup> e um canteiro central de 2.942,23 m<sup>2</sup>, após os cálculos, foram obtidos os Hidrogramas (Figura 2.13, 2.14, 2.15 e 2.16) e representados pela Tabela 2.3.

**Figura 2.13 Hidrograma BD B – Arranjo 1**



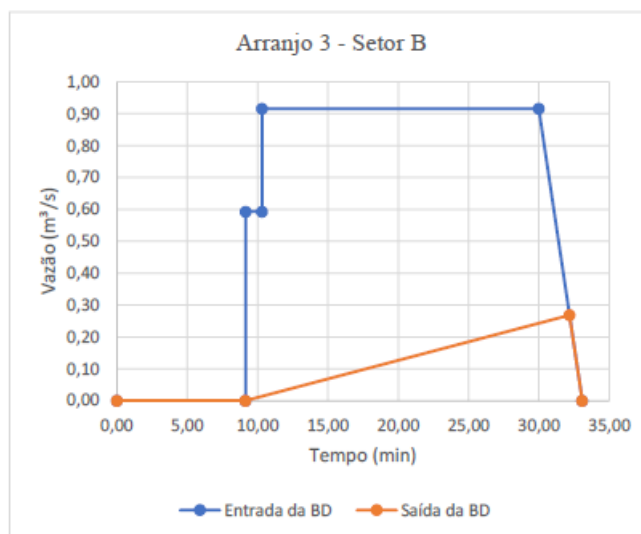
Fonte: Peroni, 2023.

**Figura 2.14 Hidrograma BD B – Arranjo 2**



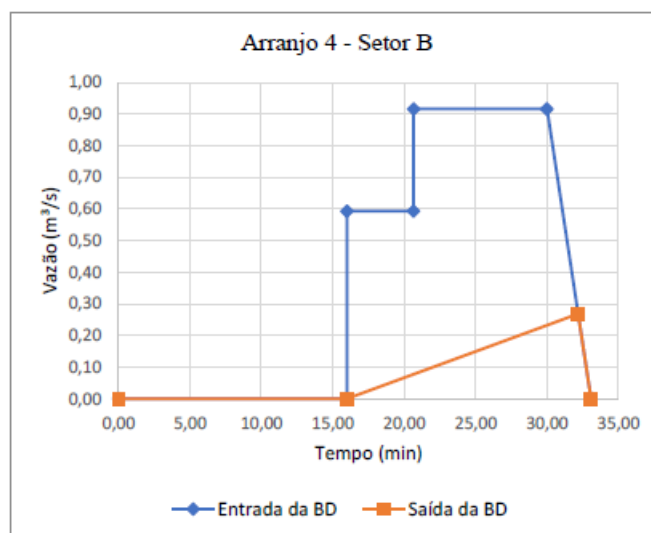
Fonte: Peroni, 2023.

**Figura 2.15 Hidrograma BD B – Arranjo 3**



Fonte: Peroni, 2023.

**Figura 2.16 Hidrograma BD B – Arranjo 4**



Fonte: Peroni, 2023.

**Tabela 2.2 Vazões (Q) e Volumes (V) dos Arranjos 1 a 4 para o Setor B**

Arranjos	$Q_{pré}$ (m³/s)	$V_{pré}$ (m³)	$Q_{pós}$ (m³/s)	$V_{pós}$ (m³)	$V_{detenção}$ (m³)	Figura Hidrograma
B-1	0,27	482,85	0,90	1.618,77		38
B-2	0,27	482,85	0,90	1.298,37		39
B-3	0,27	482,85	0,90	1.618,77		40
B-4	0,27	482,85	0,90	1.298,37		41

Fonte: Peroni, 2023.

Os hidrogramas apresentados nas Figuras 2.13 e 2.14 mostram a possibilidade da influência entre os tempos de enchimento das AVR com a redução de volume e com o retardamento da vazão de pico. A duração da chuva somado ao tempo de contribuição do setor, compuseram o ponto de esvaziamento total da área e já a saída da BD B demonstra uma vazão de saída crescente que alcança a vazão máxima de restrição (vazão de pré-ocupação) quando cruza com a chuva de entrada na BD.

É importante destacar que os dois arranjos que levaram a volumes de retenção menores e, conseqüentemente, à diminuição da BD não podem ser avaliados apenas sob a perspectiva hidrológica apresentada na Seção A. A eficácia dessas estruturas é assegurada pela correta instalação e manutenção. Portanto, optar pelo setor com menor volume de retenção pode não ser a melhor escolha, dependendo das condições locais, pois os volumes obtidos pelo método podem ser diferentes, principalmente em períodos prolongados de uso.

Embora os cálculos realizados para a avaliação das TC tenham sido automatizados na planilha, uma dificuldade permaneceu ao fim e não foi solucionada: o encadeamento dos fluxos da água na área de estudo precisava ser feito manualmente, o que implicava em trabalho adicional e, dependendo do tamanho da urbanização, exaustivo. Como será visto posteriormente, esta dificuldade foi superada no novo método desenvolvido na presente pesquisa.

Da mesma forma, o método de Peroni (2023) não chegou a incorporar aspectos relativos aos custos financeiros das soluções, o que também foi adicionado na presente pesquisa.

## **2.8 Aplicação de TC em áreas já urbanizadas**

Segundo o manual de drenagem da cidade de *Portland* (2016), algumas das maiores dificuldades da implantação de TC é a disponibilidade de espaço necessária. Além disso, a preocupação sobre o local onde a TC será inserida é relevante para que não ocorra interferências com instalações subterrâneas ou contaminação do lençol freático.

Ainda segundo o manual, é importante observar a implantação de TC em locais de tráfego, onde além de facilitar a contaminação da água captada, pode acarretar problemas por receber vibrações e esforços de veículos, podendo assim, danificar a estrutura dessas TC.

Além disso, o manual de drenagem da cidade de Toronto (2006), reforça a importância da integração da água com o meio urbano, avaliando a possibilidade de utilização de TC com multifuncionalidades, como a criação de jardins de chuva como ambientes de convívio social ou até mesmo praças ou quadras esportivas para bacias de retenção em épocas de chuva.

Outros problemas que podem ser encontrados principalmente em países emergentes, são a má utilização dessas TC e proliferação de vetores, o que acabam gerando problemas para a população local (MARYLAND, 1999).

Assim, surgindo a necessidade de encontrar caminhos para alternativas com características mais interessantes para facilitar sua viabilidade de implantação, custos, vantagens, dentre outros.

No caso de áreas já urbanizadas, onde os problemas relacionados às águas pluviais ocorrem com maior frequência, o uso de TC pode ser dificultado, em função de diversas características destes ambientes, não só físicas, mas também sociais, econômicas e mesmo culturais. Assim, aparecem novas variáveis, que extrapolam as considerações de cunho hidrológico.

Lopes (2021) desenvolveu uma listagem facilitadora através de bibliografia revisada sobre variáveis a serem consideradas para a aplicação de TC em meio já urbanizado, conseguindo assim, sistematizar quais variáveis possuem maior relevância na escolha de TC antes de ser implantada em uma área já urbanizada. Desse modo, são apresentadas as variáveis no Tabela 2.1.

**Tabela 2.3 Variáveis Propostas para aplicação de TC em Áreas já Urbanizadas**

VARIÁVEIS PROPOSTAS PARA A APLICAÇÃO DE TC EM ÁREAS JÁ URBANIZADAS
Área Superficial Ocupada pela TC
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas
Esforços e Vibrações Externas
Interferência com Instalações Subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas
Disponibilidade de Áreas Públicas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes
Aceitação pela População
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos
Possibilidade de Usos Múltiplos
Possibilidade de Reurbanização da Área
Possibilidade de Fraudes ou Usos Indevidos
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores

Fonte: Lopes, 2021.

- **Área Superficial Ocupada pela TC:** A necessidade de grandes áreas para a implantação de TC é, muitas vezes, inviável para algumas cidades por não possuírem disponibilidade de espaço suficiente.
- **Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas:** Algumas TC como as bacias, necessitam de grandes espaços para sua implantação. Sendo assim, locais com alta densidade de urbanização, conseqüentemente não possuem disponibilidade de grandes áreas, necessitando muitas vezes a avaliação de uma possível implantação da TC utilizando espaços menores, mas localizada em mais do que apenas em um local da área escolhida.
- **Esforços e Vibrações Externas:** Algumas TC, principalmente as de infiltração como trincheiras e valas, não são feitas com materiais de extrema durabilidade

para serem implantadas em locais com tráfegos intensos ou que precisem suportar grandes cargas.

- **Interferência com Instalações Subterrâneas:** Para a implantação, não somente de uma TC, mas de qualquer elemento onde será necessário disponibilizar um pedaço de área já urbanizada, é necessário observar se existe a possibilidade de interferência com instalações subterrâneas já existentes no local determinado.
- **Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente:** Em locais já urbanizados normalmente já existe um sistema de drenagem, que com a implantação de uma TC, surge a possibilidade da integração para melhor funcionamento e não acarretar sobrecarga da mesma.
- **Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas:** Em áreas onde já existem edificações, mas também possuem problemas de drenagem, é necessário avaliar a possibilidade de implantação de TC em áreas privadas para melhorar o escoamento superficial.
- **Disponibilidade de Áreas Públicas:** Para não precisar desapropriar áreas para a implantação de TC, é possível averiguar a existência de disponibilidade de áreas públicas onde irá facilitar sua implantação sem a necessidade de interferência do poder público.
- **Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes:** Em centros urbanos quando há a necessidade de paralização do trânsito ou o bloqueio de certos locais para a construção ou manutenção de obras, normalmente pode acarretar conflitos que precisam de estratégias para que não provoquem prejuízos ou estorvos para a população local.
- **Aceitação Pela População:** Antes da implantação de uma TC, é necessário avaliar todos seus aspectos para saber se a população próxima do local determinado irá aceitar sua construção, precisando assim, que a TC traga vantagens que facilitem essa aceitação.

- **Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos:** Técnicas de infiltração podem ser utilizadas juntamente ao sistema viário ou estacionamentos existentes, facilitando sua integração com o meio urbano do local onde será implantada.
- **Possibilidade de Usos Múltiplos:** Complementando a aceitação pela população, torna-se interessante a possibilidade de implantação de TC com usos múltiplos, que possam ser integradas ao meio urbano e paisagístico já existentes como praças e jardins.
- **Possibilidade de Reurbanização da Área:** Áreas em reurbanização são áreas urbanizadas que passam por uma organização ou melhoria em sua infraestrutura, sendo então, necessário avaliar a possibilidade de implantação de TC em uma área deste tipo.
- **Possibilidade de Fraudes ou Usos Indevidos:** Com a implantação de TC em locais já urbanizados e existindo a possibilidade de sua integração com o sistema de drenagem existente, pode ocorrer usos indevidos como citados anteriormente na descrição desta variável, gerando assim, o mau funcionamento da TC e muitas vezes, até mesmo o desmanche da mesma.
- **Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores:** Geralmente em áreas já urbanizadas existe a dificuldade da possibilidade de dispersão do lançamento das águas pluviais captadas em diferentes pontos do corpo receptor, devido a presença de edificações e outras infraestruturas já existentes no local.

Ainda segundo a autora, em geral, os maiores problemas encontrados para a implantação de TC em áreas urbanizadas são a falta de espaços ou dificuldade de integração com estruturas existentes, como parques ou estacionamentos.

Com o auxílio dessas variáveis também é possível a melhor compreensão para a adoção de metodologias mais precisas para a implantação de TC em meio já urbanizado.

Além disso, a autora propôs um pré-dimensionamento teórico para obter alguns valores de grandeza para conseguir definir alguns parâmetros para a aplicação de TC,

como a importância da associação de TC entre si e a utilização dos sistemas de drenagem já existente para a melhor escoamento da água de chuva local.

Lopes (2021), sugere também essa alternativa de TC não necessita de muito espaço e pode ser colocada em locais com ruas alargadas e com menor fluxo de veículos. Outra possibilidade de implantação também é utilizando alguns locais de estacionamento e também, podendo ser associada com a utilização de pavimentos permeáveis.

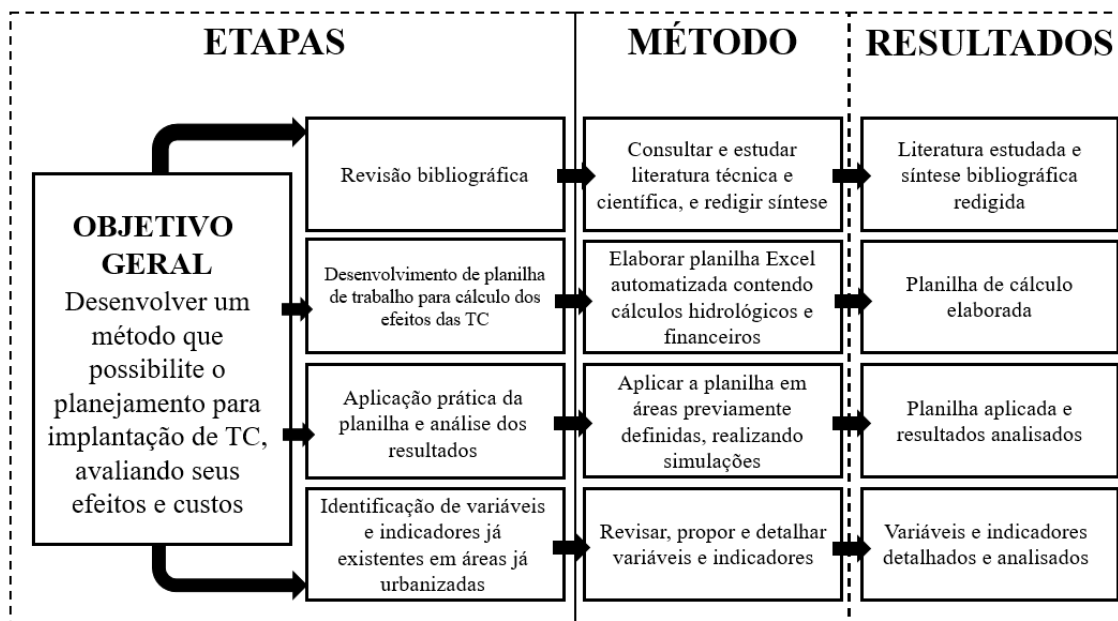
O encaminhamento da água pode ocorrer para o sistema de drenagem local e por infiltração no solo. Haverá certamente alguma detenção da água por um período de tempo, ajudando a reduzir a vazão de pico.

Existem diversas configurações de combinações de TC em um meio urbano, que trazem harmonia com a mobilidade e também com a sustentabilidade local. O manual do *LID* de *Eastern Washington* (2013), possui exemplos de algumas alternativas de diversas configurações para essas utilizações associadas, como citadas anteriormente.

### 3 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido com base em uma metodologia estruturada em quatro etapas, conforme esquema apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 Síntese da pesquisa



Fonte: Autora, 2025.

#### 3.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sistematizada em diversas fontes técnicas, incluindo livros, artigos científicos, dissertações e manuais de engenharia que abordam a utilização de dispositivos análogos, com o intuito de identificar as metodologias de cálculo mais utilizadas e suas respectivas fundamentações teóricas. Foram consultadas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*, dentre outras.

A partir dessa análise, buscou-se compreender as premissas adotadas por diferentes autores, observando as semelhanças e divergências entre os métodos apresentados, bem como suas vantagens e limitações quando aplicados em diferentes condições de drenagem.

No desenvolver dessa etapa, foram encontradas as principais características a serem observadas para a implantação de TC, independentemente do seu tipo, enfatizando seus aspectos principais principalmente em relação a dimensionamento e ocupação.

Apesar do entendimento da utilização de TC como uma fonte alternativa para sanar problemas hidrológicos, também pode ser observado suas vantagens pela integração com o meio urbano, versatilidade e por vezes, simplicidade de construção e manutenção, tornando-se assim, alternativas de caráter relevante para os dias atuais.

### **3.2 Desenvolvimento de planilha de trabalho para cálculo dos efeitos das TC**

Após o embasamento teórico, iniciou-se a fase de elaboração da planilha de cálculo em ambiente Microsoft Excel, que constitui a principal ferramenta prática deste trabalho, sendo referida como um método simples e de fácil utilização para todos os tipos de usuários.

O desenvolvimento da planilha foi orientado pela necessidade de avaliar a eficiência e os efeitos das TC quanto à detenção e infiltração de águas pluviais, bem como estimar custos de implantação e comparar o desempenho entre diferentes soluções hidrológicas.

A princípio, buscou-se adaptar e aperfeiçoar a planilha desenvolvida por Peroni (2023) e apresentada no item 2.7. Entretanto, acabou ocorrendo uma evolução para uma nova planilha, ainda que mantendo alguns conceitos da anterior.

A planilha foi estruturada para automatizar os cálculos de volume, vazão e custos, reduzindo o número de operações manuais e tornando o processo mais ágil e confiável.

Além disso, o modelo permite ajustar parâmetros de entrada conforme as características específicas da área de estudo, oferecendo flexibilidade para simulações e testes de diferentes cenários.

Um dos principais diferenciais da ferramenta é a integração de uma Bacia de Detenção Virtual (BD Virtual), que atua como referência comparativa para as análises. Dessa forma, é possível avaliar o desempenho relativo de cada TC de maneira mais direta, considerando o impacto de sua implantação dentro de uma bacia hidrográfica.

Para melhorar a organização e a usabilidade, a planilha foi dividida em abas específicas, cada uma voltada para as diferentes etapas de cálculo e para cada tipo de TC.

Outro diferencial introduzido na ferramenta, foi o cálculo dos custos das diferentes técnicas, bem como da BD Virtual. Para tanto, podem ser utilizados valores constantes em bases oficiais, como o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) que foi a base de referência deste trabalho, ou utilizar custos reais obtidos no local de implantação.

Essa estrutura modular facilita a compreensão do funcionamento interno da ferramenta, permitindo que o usuário realize ajustes, atualizações e análises personalizadas com facilidade.

Além disso, a segmentação em abas possibilita realizar diferentes simulações de forma simultânea, favorecendo o estudo comparativo e a visualização de resultados de maneira prática e direta.

O desenvolvimento da planilha foi feito com aplicações práticas, de modo a assegurar que os cálculos automatizados reproduzissem com fidelidade as equações e métodos teóricos utilizados como base. Esses testes foram fundamentais para garantir a precisão, estabilidade e confiabilidade dos resultados, consolidando a planilha como uma ferramenta útil para apoio à tomada de decisão em projetos de drenagem urbana. Ao final desta etapa chegou-se a um produto que foi denominado “Planilha Base”.

### **3.3 Aplicação prática e análise dos resultados**

Esta etapa ocorreu inicialmente em paralelo com a elaboração da planilha, descrita no item anterior, de modo que as aplicações e simulações orientaram sua confecção. Após a finalização da planilha, procedeu-se a uma aplicação final, em que a ferramenta foi utilizada para simular diferentes cenários de implantação de TC.

Foram inseridos dados representativos de uma bacia experimental para verificar a resposta da ferramenta diante de variações nos parâmetros hidrológicos e de custo.

Para isso, foram escolhidas áreas previamente estudadas para facilitar o entendimento de diferentes possibilidades de implantação de TC, mostrando que existem diversos meios para a utilização dessa ferramenta em locais com características únicas. Deste modo, os locais selecionados, para a melhor obtenção dos dados, foram escolhidos a fim de comparação com resultados já encontrados por outros estudos, gerando assim a possibilidade de identificação se a ferramenta funciona.

As áreas escolhidas a estudadas já foram analisadas em estudos posteriores por Lopes (2021) e Peroni (2023), a fim de ter uma base sobre valores obtidos por métodos semelhantes e assim, conseguir uma estimativa mais justa por meio desta comparação. Mesmo sem a certeza de que os cálculos anteriores possam conter erros ou estarem totalmente certos, foi levado em consideração o contexto teórico dentro dos padrões procurados,.

Foram feitas também aplicações em outros locais, mas não estão sendo apresentados na tese pois os critérios de projeto utilizados não permitiram fazer comparações.

A análise resultante foi expressa tanto em forma numérica quanto gráfica, facilitando a interpretação dos dados e a avaliação do desempenho relativo de cada alternativa estudada.

### **3.4 Identificação de variáveis e indicadores para áreas já urbanizadas**

Nesta etapa, que acabou se tornando adicional, incorporada de forma secundária ao objetivo geral da pesquisa, foi feita uma avaliação de variáveis e indicadores, principalmente de caráter não hidrológico, relacionados à implantação de TC em áreas já urbanizadas. Algumas dessas variáveis já haviam sido obtidas por Lopes (2021), tais como: área de ocupação da TC, interferência com estruturas já existentes, utilização indevida, aceitação pela população, disponibilidade de áreas públicas e privadas, dentre outras. Foi feito um melhor detalhamento destas variáveis elaboradas anteriormente, ao mesmo tempo em que novas variáveis foram propostas. O conjunto final foi melhor sistematizado e, para cada uma das variáveis, foram propostos indicadores para sua caracterização mais objetiva e eventual quantificação.

A metodologia utilizada para a proposição de indicadores foi por meio da leitura de diversos manuais, planos diretores, planos de águas pluviais, de diferentes cidades, estados e países, para que assim, fossem encontrados os indicadores mais pertinentes a serem observados na implantação de TC em um meio já urbanizado, servindo assim, como a proposta para a avaliação das mesmas nestas situações específicas.

Esses indicadores por sua vez, mostram-se uteis especialmente na tomada de decisão sobre a adaptação e/ou implantação de TC em locais já urbanizados, onde encontramos os maiores desafios para construção de algo novo, principalmente em termos de espaço disponível. Por mais que os indicadores sejam uteis no auxílio para a implantação de TC em qualquer tipo de área, vale ressaltar que suas dificuldades estão em grande parte das vezes, ligadas diretamente ao meio já urbanizado ou em urbanização crescente.

## 4 Resultados e Discussões

A realização desta pesquisa culminou no desenvolvimento de uma planilha computacional concebida como uma ferramenta de apoio técnico, voltada à implantação e análise de TC. A proposta da planilha foi estruturada com base em uma metodologia simples, objetiva e acessível, permitindo que o usuário obtenha resultados consistentes e comparativos sem a necessidade de cálculos extensos ou manuais.

A ferramenta foi projetada de forma a facilitar o processo de dimensionamento e avaliação, atendendo tanto a áreas já urbanizadas quanto a novos empreendimentos, o que amplia significativamente seu campo de aplicação.

O principal resultado obtido com o desenvolvimento desta ferramenta foi a possibilidade de realizar análises simultâneas entre diferentes tipos de TC, levando em consideração variáveis hidrológicas, geométricas e econômicas.

A planilha permite não apenas o cálculo dos efeitos hidrológicos, mas também estimar os custos de implantação, promovendo uma visão integrada que une desempenho técnico e viabilidade financeira. Essa integração torna possível avaliar com maior precisão o comportamento das TC em diferentes cenários, facilitando a escolha das configurações mais adequadas para cada contexto.

As informações obtidas dão suporte à tomada de decisão em projetos de infraestrutura de drenagem urbana, permitindo uma abordagem mais racional e orientada por dados reais.

### 4.1 Desenvolvimento de planilha de trabalho para cálculo de TC

A concepção da planilha deu-se a partir do estudo inicial da Planilha de Cálculo Simplificado desenvolvido por Peroni (2023), que acabou sofrendo várias modificações, embora mantendo alguns condicionantes em comum.

Neste contexto, a planilha desenvolvida oferece uma abordagem integrada, combinando cálculos hidrológicos e estimativas financeiras para diferentes Técnicas Compensatórias (TC). A estrutura da ferramenta permite simulações em múltiplos cenários, considerando variáveis como intensidade de chuva, tempo de concentração, área de contribuição e tipo de solo.

Foi adotada uma planilha Excel, que permite acesso fácil e é de conhecimento de qualquer profissional que necessite sua utilização, além de permitir atualizações e modificações futuras. A estrutura adotada na planilha foi a divisão por abas, a fim de

facilitar a compreensão de cada etapa dos cálculos envolvidos e trabalhar as diferentes TC de forma separada (seguida por uma integração final).

Primeiramente, tem-se a aba de introdução da planilha, onde é possível entender sua metodologia e seu funcionamento, de maneira simples e objetiva. As abas seguintes apresentam os cálculos envolvidos, primeiramente sobre os dados pluviométricos e BD Virtual. E após, têm-se as abas das TC separadamente e no final, a análise da aplicação das TC em conjunto.

Foram feitas diversas aplicações ao longo do desenvolvimento da planilha, que resultaram no seu aperfeiçoamento e verificação. Inicialmente, tentou-se manter a estrutura do Método de Cálculo Simplificado de Peroni (2023) e seu funcionamento, tendo sido feitas diversas aplicações a fim de reconhecer seus pontos fortes e seus pontos de melhoria, mas optou-se por iniciar uma nova planilha. Os resultados destas aplicações iniciais não serão aqui apresentados.

Deste modo, com a criação da presente planilha de trabalho, utilizada de forma mais abrangente e visando a captação do melhor aproveitamento de coleta de dados, a mesma foi dividida em oito abas, contendo o estudo de quatro TC diferentes, que serão descritas com mais detalhes nos próximos itens. As TC abordadas na planilha foram: AVR, poço de infiltração, jardim de chuva e trincheira de infiltração, por serem as mais comumente utilizadas, e todas possuem abas distintas para seus cálculos, de modo semelhante, com dimensionamentos específicos para cada uma delas.

Todos os métodos utilizados para o dimensionamento das TC foram adotados a partir de normas e artigos específicos sobre o assunto, gerando os cálculos de área e volume, que foram necessários para os resultados obtidos na planilha.

#### **4.1.1 Aba Informações Iniciais**

Como já introduzido no item 4.1, a primeira aba da planilha contém as informações necessárias para o manuseio correto da mesma. Desta maneira, foi desenvolvido um layout simples, mas objetivo, com a intenção de ser o mais intuitivo possível para que o usuário consiga obter seus resultados da forma mais precisa e rápida possível. Na figura 4.1 é mostrada essa aba, contendo as informações com o objetivo da planilha, como ela pode ajudar, como ela funciona, os cálculos pluviométricos, BD Virtual, sobre as TC e sobre as TC Conjuntas.

Figura 4.1 Aba de Informações Iniciais

Proxima

	Planilha de cálculo simplificado para aplicação de TC	
I N T R O D U C A O	<p><b>Objetivo</b> Esta planilha tem como objetivo sua utilização para estudiosos, gestores e pessoas leigas, como um método de cálculo simplificado para aplicação de TC em diferentes contextos, servindo de como uma ferramenta de auxílio na obtenção de valores quantitativos dimensionamento, volume e custos estimados de implantação.</p> <p><b>Como utilizar esta planilha?</b> A planilha possui um modelo simples e objetivo, com grande parte de suas atividades já automatizadas para facilitar seus cálculos e trazer resultados estimativos para a tomada de decisão para implantação de TC e seus custos relacionados a construção das mesmas. Nas abas seguinte, todas as informações possuem legendas e explicações de quais células são necessárias a serem preenchidas.</p> <p><b>Como esta planilha funciona?</b> A planilha possui legendas e é separada por cores destacadas onde é necessário algum preenchimento de valores específicos que não estão presentes neste trabalho. Como demonstrado no exemplo ao lado.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; width: 100px; margin: 0 auto;"> <b>Orientações de Uso</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Use as setas para navegar pelas paginas seguintes</li> <li>II. Preencher dados gerais para dimensionamento</li> <li>III. Preencher somente as células azuis das abas</li> <li>IV. Atenção as unidades de referencia nas abas</li> </ul>
C Á L C U L O S	<p><b>Cálculos Pluviométricos</b> Os cálculos pluviométricos são baseados no período de retorno, duração de chuva, tempo de concentração, intensidade da chuva, área da bacia estudada e o coeficiente de Runoff considerado para a área na situação de pré e pós-urbanização.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; width: 100px; margin: 0 auto;"> <b>LEGENDA</b> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; width: 40px;">PREENCHER</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; width: 40px;">NÃO PREENCHER</div> </div>
A B A S	<p><b>Bacia de Detenção Virtual</b> Dimensionar uma Bacia de Detenção a partir das vazões de entrada (pós-urbanização) e de saída (pré-urbanização), considerando o Método Racional com valores iguais para o tempo de concentração e a duração de chuva. Esta bacia passa a ser chamada de BD Virtual.</p> <p><b>AVR</b> I. Todas as TC possuem a mesma estrutura para a realização de cálculo, onde será necessário somente o preenchimento das células de cores diferentes das demais, como para seu dimensionamento. II. Para os cálculos de custo, é necessário informar a quantidade de TC trabalhada. Existem valores pré-estabelecidos retirados da <b>SINAPI (Jan/26)</b>, mas que devem ser atualizados regularmente para maior precisão. III. As AVR são estruturas que podem ter diversas formas e tamanhos, facilitando sua implantação e otimizando espaços.</p>	<div style="margin-bottom: 10px;"> Cal. Pluv.</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> BD</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> AVR</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> POCO</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> J. Chuva</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> Trincheira</div> <div style="margin-bottom: 10px;"> TC Conj.</div>
E R A I S	<p><b>Poco de Infiltração</b> Pocos de Infiltração são estruturas de drenagem centralizadas, que utilizam pouco espaço e podem ser inseridas em diversos locais. Podem ser cobertos, descobertos, fundos, rasos e em varias quantidades.</p> <p><b>Jardim de Chuva</b> Os jardins de chuva são estruturas semelhantes as AVR, onde podem ter diferentes tipos de formas e diversos meios de dimensionamento. A maior diferença entre as duas TC seria que o jardim de chuva utiliza de uma vegetação natural na sua superficie, sendo nativa ou não, que também interfere nos custos finais da implantação.</p> <p><b>Trincheira</b> As trincheiras são estruturas de drenagem lineares, mas que também podem varias em seus tamanhos. Possuem grande vantagem a serem utilizadas em diversos locais sem a necessidade de expansiva mão de obra ou espaços muito grandes.</p> <p><b>TC Conjuntas</b> Após todos os cálculos obtidos, aba de TC Conjuntas gera uma análise comparativa entre as TC, com seus volumes, custos totais, custos por volume e porcentagem de detenção da BD Virtual.</p>	<div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div>

< >

Informações Iniciais

Cálculos Pluviométricos

BD Virtual

AVR

Poço de Infiltração

Jardim de Chuva

Trincheira

TC Conjuntas

< >

Fonte: Autora, 2025.

Com isso, foi planejado uma maneira introdutória que corresponda as expectativas para uma planilha para cálculos rápidos e objetivos, conseguindo informar as recomendações necessárias na sua utilização.

#### **4.1.2 Aba Cálculos Pluviométricos**

A aba de cálculos pluviométricos, mostrada na Figura 4.2, utiliza estimativas de intensidade e altura de chuva, em função de períodos de retorno e tempo de duração da chuva, para a obtenção das vazões de projeto. Os dados podem ser inseridos (a partir de tabelas previamente calculadas) ou calculados via equações IDF (intensidade, duração e frequência), com a introdução das respectivas variáveis. As vazões do escoamento superficial são calculadas pelo Método Racional, aceitável para a escala urbana.

Esta aba ainda traz, a título de informação, valores de coeficientes de infiltração para diferentes tipos de solo que serão empregados nos cálculos em abas posteriores.

Os principais resultados desta aba são as vazões de pré e pós ocupação da área de estudo.

Figura 4.2 Aba de Cálculos Pluviométricos

↑  
Proxima

↓  
Anterior

↓  
Inicio

### Cálculos de Vazão

**Equação da Vazão:**  $Q = C \times I \times A$

<b>Vazão Pré-ocupação</b>	0.00
<b>C = Coeficiente de Runoff (área natural)</b>	0.00
<b>Q = Vazão Pré-Ocupação (m³/s)</b>	0.00
<b>Vazão Pós-Ocupação</b>	0.00
<b>C = Coeficiente de Runoff (área urbanizada)</b>	0.00
<b>Q = Vazão Pós-Ocupação (m³/s)</b>	0.00

**Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos**

K(m/s)	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
Tipos de solo	seixos sem areia nem elementos finos	seixos com seixos, areia grossa a areia fina	Areia com seixos, areia grossa a areia fina	Areia muito fina, silte grosso a silte				
Possibilidade de infiltração	Excelentes			Boas		Médias a baixas		

### Informações Pluviométricas

<b>Dados da Planilha IDF</b>	
T = período de retorno (anos)	2
t = duração da chuva (min)	20
tc = tempo de concentração (min)	20
i = intensidade da chuva (mm/h)	0
Área da bacia (m²)	0
Altura da chuva (m)	0.0000
Volume da chuva (m³)	0

**Equação para cálculo de IDF**

a = fator de intensidade base, depende diretamente do tempo de retorno (T)      0

b = fator de ajuste para duração da chuva (min)      0

c = fator de declínio, normalmente esta entre 0,6 e 0,9

T = período de retorno (anos)      0

t = duração da chuva (min)      0

i = intensidade da chuva (mm/h)      0

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$

Fonte: Autora, 2025.

Na figura 4.3, é possível observar a parte inicial da aba, com os cálculos pluviométricos básicos, onde serão introduzidos o período de retorno, a duração de chuva, o tempo de concentração e obtidos a intensidade, altura e volume da chuva, este último a partir da área da bacia de contribuição.

**Figura 4.3 Informações Pluviométricas**

<b>Informações Pluviométricas</b>	
<b>Dados da Planilha IDF</b>	
T = período de retorno (anos)	2
t = duração da chuva (min)	20
tc = tempo de concentração (min) (tc = t)	20
i = intensidade da chuva (mm/h)	
Área da bacia (m <sup>2</sup> )	0
Altura da chuva (m)	0.0000
Volume da chuva (m <sup>3</sup> )	0

Fonte: Autora, 2025.

Para a obtenção dos dados de intensidade e altura, podem ser adotadas tabelas já existentes para diferentes locais, como as desenvolvidas para a cidade de Araraquara-SP (Figura 4.4), que estarão presentes nos diversos exemplo de aplicação incluídos na Tese.

Outro ponto a ser observado, como a cidade de Araraquara já possui a tabela com todos os dados necessários, mas podendo ser comprovado que os resultados serão os mesmos se fizermos os cálculos da equação de IDF para a cidade, faz com que se torne mais rápido o preenchimento da mesma.

Comumente são mais utilizados os dados do início das tabelas, pois a maioria dos estudos trabalham com chuvas rápidas e frequentes, assim, por vezes não havendo a real necessidade de trabalhar com a tabela completa.

Figura 4.4 Máximas intensidades de chuva e altura de chuvas de Araraquara

## Araraquara: Previsão de máximas intensidades de chuvas (mm/h)

Duração T (min)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	115,8	138,2	153,1	161,5	167,4	171,9	185,9	199,8	213,6
20	86,2	104,9	117,2	124,2	129,1	132,9	144,5	156,0	167,5
30	69,1	85,4	96,2	102,2	106,5	109,8	119,9	129,9	139,9
60	44,1	56,4	64,5	69,1	72,3	74,8	82,5	90,1	97,6
120	26,3	34,7	40,3	43,5	45,7	47,4	52,6	57,9	63,0
180	19,1	25,0	28,9	31,1	32,6	33,8	37,4	41,0	44,6
360	10,9	13,9	16,0	17,1	17,9	18,5	20,4	22,3	24,1
720	6,1	7,6	8,7	9,3	9,7	10,0	10,9	11,9	12,9
1080	4,3	5,4	6,1	6,4	6,7	6,9	7,6	8,2	8,9
1440	3,4	4,2	4,7	5,0	5,2	5,3	5,3	6,3	6,8

\*Selecionar dados de T e t de acordo com a tabela acima

## Araraquara: Previsão de máximas alturas de chuvas (mm)

Duração T (min)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	19,3	23,0	25,5	26,9	27,9	28,7	31	33,3	35,6
20	28,7	35,0	39,1	41,4	43,0	44,3	48,2	52,0	55,8
30	34,5	42,7	48,1	51,1	53,3	54,9	60,0	65,0	70,0
60	44,1	56,4	64,5	69,1	72,3	74,8	82,5	90,1	97,6
120	52,6	69,5	80,7	87,0	91,4	94,8	105,3	115,7	126,1
180	57,4	75,0	86,6	93,2	97,8	101,3	112,2	123,0	133,8
360	65,3	83,6	95,7	102,6	107,3	111,0	122,4	133,6	144,8
720	73,1	91,8	104,1	111,1	106,0	119,8	131,3	142,8	154,3
1080	77,7	96,5	109,0	116,0	120,9	124,7	136,4	148,0	159,5
1440	81,0	99,9	112,4	119,5	124,4	128,2	140,0	151,6	163,2

Fonte: DAEE, adaptado, 2025.

Caso a cidade estudada não possua as tabelas mencionadas ou caso não se queira utilizá-las, é necessária a utilização da equação do cálculo de IDF, possibilitando encontrar os valores de intensidade da chuva, mostrado na figura 4.5. As tabelas representam valores pré-definidos que podem ser encontrados também através do cálculo de IDF.

Figura 4.5 Equação para cálculo de IDF

Equação para cálculo de IDF	
a = fator de intensidade base, depende diretamente do tempo de retorno (T)	0
b = fator de ajuste para duração da chuva (min)	0
c = fator de declínio, normalmente esta entre 0,6 e 0,9 no Brasil	0
T = período de retorno (anos)	0
t = duração da chuva (min)	0
i = intensidade da chuva (mm/h)	0

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$

Fonte: Autora, 2025.

Por fim, consegue-se encontrar os valores das vazões de pré e pós ocupação, a partir da adoção dos coeficientes de Runoff definidos para cada tipo de situação (Figura 4.6).

**Figura 4.6 Cálculos de Vazão**

<b>Cálculos de Vazão</b>	
<b>Equação da Vazão: <math>Q = C \times I \times A</math></b>	
<b>Vazão Pré-ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área natural)	0.00
Q = Vazão Pré-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0.00
<b>Vazão Pós-Ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área urbanizada)	0.00
Q = Vazão Pós-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0.00

Fonte: Autora, 2025.

Esta aba ainda traz, a título de ilustração, uma tabela de ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes tipos de solos (Figura 4.7), contendo valores que serão utilizados em cálculos posteriores.

**Figura 4.7 Ordem de grandeza de diferentes solos**

<b>Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos</b>								
<b>K(m/s)</b>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
<b>Tipos de solo</b>	seixos sem areia nem elementos finos			Areia com seixos, areia grossa a areia fina			Areia muito fina, silte grosso a silte	
<b>Possibilidade de infiltração</b>	Excelentes			Boas			Médias a baixas	

Fonte: Autora, 2025.

### 4.1.3 Aba BD Virtual

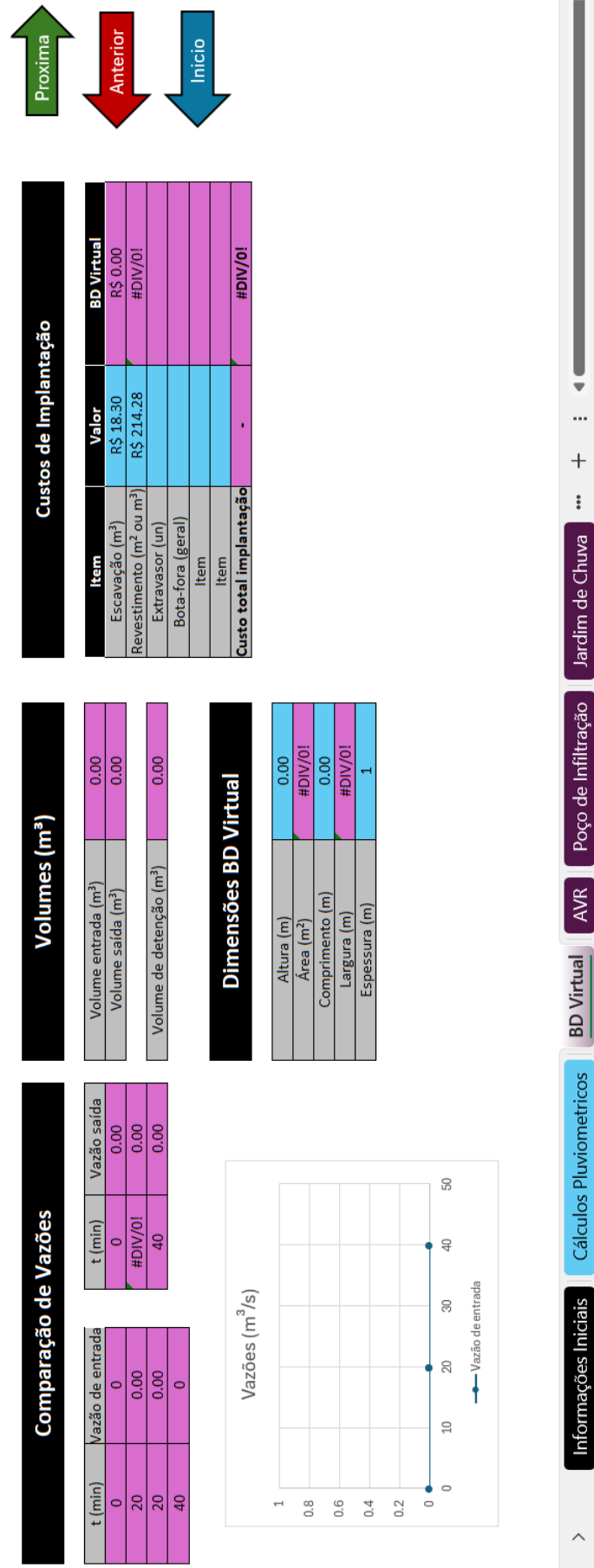
Um conceito adotado por Peroni (2023) que foi mantido no presente método foi utilizar o volume de uma eventual Bacia de Detenção (BD) no exutório da área estudada como indicador dos efeitos decorrentes da implantação das TC. Como esta bacia pode ou não vir a ser implantada, foi aqui denominada **BD Virtual**.

No método de Peroni (2023), os fluxos do escoamento superficial que passavam pelas TC implantadas a montante da BD davam origem a alterações no hidrograma da vazão de entrada na BD, ocasionando redução no volume desta. Entretanto, a obtenção deste novo hidrograma não era automática e demandava um trabalho adicional. Após algumas aplicações realizadas, observou-se que não era necessário obter este novo hidrograma de entrada, pois os resultados eram os mesmos ao se considerar somente os volumes de detenção proporcionados pelas TC. Deste modo, somente com as informações de volume já era possível se chegar aos resultados, dispensando-se ao cálculo manual relacionado aos diferentes trajetos de escoamento da água. Assim, esta alteração permitiu a automatização dos cálculos, conforme sera apresentados nas abas das TC.

O raciocínio por trás da utilização da BD Virtual é bastante simples: o seu volume total, calculado de modo que a vazão de pós-ocupação seja igual a de pré-ocupação, passa a ser “distribuído” pelos volumes de detenção das TC a serem implantadas. A “eficiência” decorrente destas últimas é o percentual de redução do volume da BD Virtual. Caso o somatório dos volumes de detenção das TC seja igual ao volume obtido para a BD Virtual, tem-se uma eficiência de 100% e a BD não precisaria ser implantada. Uma eficiência de 50% indica que a BD ainda é necessária, porém com volume reduzido à metade.

Assim, o principal resultado desta aba, mostrada de forma integral na Figura 4.8 e recortada na Figura 4.9, é o volume da BD Virtual, que servirá de referência para se avaliar os efeitos da implantação das TC.

Figura 4.8 BD Virtual



Fonte: Autora, 2025.

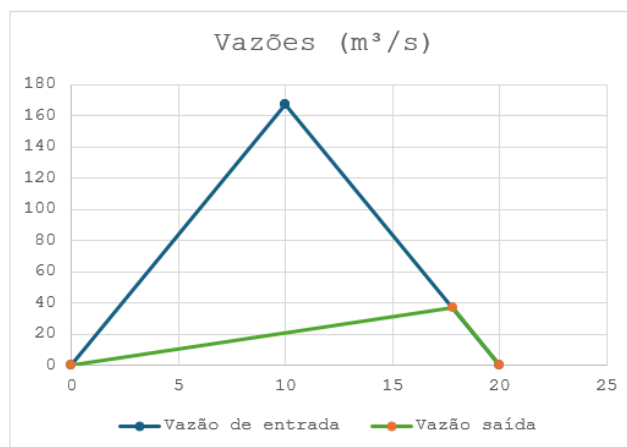
**Figura 4.9 Comparação de Vazões e Volumes**

Comparação de Vazões				Volumes (m <sup>3</sup> )	
t (min)	Vazão de entrada	t (min)	Vazão saída	Volume entrada (m <sup>3</sup> )	0.00
0	0	0	0.00	Volume saída (m <sup>3</sup> )	0.00
20	0.00	#DIV/0!	0.00	Volume de detenção (m <sup>3</sup> )	0.00
20	0.00	40	0.00		
40	0				

Fonte: Autora, 2025.

O cálculo do volume da BD Virtual é feito a partir da diferença entre as áreas dos hidrogramas triangulares de entrada e saída, conforme mostrado na Figura 4.10. O formato triangular dos hidrogramas significa que os valores do tempo de concentração e da duração da chuva são iguais, uma condição que é recomendada quando se usa o Método Racional. Esta é outra diferença em relação ao método de Peroni, que admitia tempos de concentração e duração da chuva diferentes (com hidrogramas trapezoidais).

**Figura 4.10 Gráfico de Vazões**



Fonte: Autora, 2025.

Além disso, com essa simulação da BD Virtual, é possível estimar os custos necessários para sua implantação (Figura 4.11), permitindo a comparação com os custos da utilização das TC. Os principais custos de ambas as alternativas (escavação, revestimento, bota-fora, etc) são calculados em função dos respectivos volumes. No que se refere ao custo do revestimento, pode ser necessário definir as dimensões da BD, o que também está contemplado na aba. Outros custos (eventuais estruturas, tubulações, extravasores etc.) podem ser introduzidos de forma unitária.

Figura 4.11 Custo de Implantação

Custos de Implantação		
Item	Valor	BD Virtual
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 0.00
Revestimento (m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> )	R\$ 214.28	#DIV/0!
Extravasor (un)	R\$ 342.30	
Bota-fora (geral)	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
<b>Custo total implantação</b>	<b>-</b>	<b>#DIV/0!</b>

Fonte: Autora, 2025.

Nos exemplos estudados, foi adotada a base de valores SINAPI (2026). Nesta aba, deve-se filtrar o insumo que deseja saber o valor e de acordo com o estado em que sera feito o projeto. É importante ressaltar que a qualquer momento pode ser alterado o item que deseja utilizar para a implantação da TC estudada, e desta maneira também o seu valor unitário, podendo também adicionar ou remover linhas da tabela de acordo com a necessidade do projeto.

#### 4.1.4 Aba AVR

A aba da Área Verde Rebaixada (AVR), mostrada na Figura 4.12, serve como modelo para as demais TC. Nela, são inseridos os dados relativos às dimensões da AVR e eventual porosidade interna (normalmente igual a 100%), resultando no volume útil de armazenamento da água. Além deste volume, é calculado também o volume correspondente à infiltração da água no solo, a partir do coeficiente de infiltração do local, da vazão afluente a cada unidade de AVR e do tempo de duração da chuva. Os volumes de armazenamento e de infiltração são somados, resultando no volume total de detenção. A inclusão do volume de infiltração é outro diferencial em relação ao método de Peroni (2023), embora muitas vezes os valores sejam desprezíveis, em função do coeficiente de infiltração, indicando que esse fenômeno não é significativo durante a ocorrência do evento de precipitação. A planilha ainda permite introduzir um fator de redução da infiltração em função da colmatação ao longo do tempo.


A concepção para a utilização de AVR é feita a partir do seu dimensionamento, que pode ser considerado de diversas maneiras e formatos, onde é preciso ter as

informações de largura, comprimento e profundidade para encontrar sua área e volume, que são os dados necessários para seus cálculos.


O volume total de detenção e o volume de infiltração são também utilizados para determinar, respectivamente, os tempos de enchimento e de esvaziamento da unidade, calculados automaticamente na planilha. Estes são valores que precisam ser conhecidos para contextualizar a adoção da TC. Um tempo de esvaziamento muito longo pode não só manter uma lâmina d'água na AVR por um período indesejado, como também prejudicar a capacidade de detenção para o evento de precipitação seguinte.

Após o cálculo relativo a uma das unidades de AVR, é feita uma totalização em função do número de unidades, obtendo-se o total de retenção esperado. Este, por sua vez, é dividido pelo volume da BD virtual calculado na aba anterior, obtendo-se assim o efeito decorrente da implantação destas unidades (“eficiência”), ver Figura 4.14.


Figura 4.12 Aba AVR



↑  
Próxima



↓  
Anterior



↓  
Início

Parâmetros		AVR 1		AVR 2		AVR 3	
C	Comprimento	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	Largura	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ap	Área em planta	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H	Altura	m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
V	Volume da unidade	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Iv	Índice de vazios	NA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vd	Volume útil de detenção	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ai	Área de infiltração	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.0000036	0.0000036	0.0000036	0.0000036	0.0000036
Ri	Redução da Infiltração	NA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Qj	Vazão de infiltração	m <sup>3</sup> /h	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ví	Volume de infiltração	m <sup>3</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ac	Área de contribuição	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	Vazão afluente da unidade	m <sup>3</sup> /h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vt	Volume de detenção total	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	Tempo de enchimento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Tem	Tempo de enchimento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Tes	Tempo de esvaziamento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Tes	Tempo de esvaziamento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Quantidade		unid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume total		m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume infiltrado durante a chuva		m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Percentual infiltrado durante a chuva		(%)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Custos de Implantação		
Item	Valor	AVR1
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 0.00
Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	R\$ 214.28	R\$ 0.00
Extravasor (un)		R\$ 0.00
item		
item		
item		
<b>Custo total implantação</b>	-	R\$ 0.00

Volume total AVRs	
AVR 1 (m <sup>3</sup> )	0.00
AVR 2 (m <sup>3</sup> )	0.00
AVR 3 (m <sup>3</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	0.00
Volume TC/ Volume BD Virtual (%)	#DIV/0!

Fonte: Autora, 2025.

Nessa aba, já consegue-se observar que as informações necessárias, de modo geral, são bem simples e definidas na cor azul, e na cor verde são as células onde possuem formulas com cálculos automáticos a partir dos dados fornecidos (Figura 4.13).

**Figura 4.13 Parâmetros AVR**

Á R E A	Parâmetros			AVR 1	AVR 2	AVR 3
	C	Comprimento	m	0.00	0.00	0.00
L	Largura	m	0.00	0.00	0.00	
Ap	Área em planta	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	
H	Altura	m	0.50	0.50	0.50	
V	Volume da unidade	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	
Iv	Índice de vazios	NA	1.00	1.00	1.00	
Vd	Volume util de detenção	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	
Ai	Área de infiltração	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	
Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.0000036	0.0000036	0.0000036	
Ri	Redução da Infiltração	NA	1.00	1.00	1.00	
Qi	Vazão de infiltração	m <sup>3</sup> /h	0.0000	0.0000	0.0000	
Vi	Volume de infiltração	m <sup>3</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	
Ac	Área de contribuição	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	
Q	Vazão afluente da unidade	m <sup>3</sup> /h	0.00	0.00	0.00	
Vt	Volume de detenção total	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	
Te	Tempo de enchimento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Tem	Tempo de enchimento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Tes	Tempo de esvaziamento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Tes	Tempo de esvaziamento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Quantidade	unid	0.00	0.00	0.00	
	Volume total	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	
	Volume infiltrado durante a chuva	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	
	Percentual infiltrado durante a chuva	(%)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Fonte: Autora, 2025.

E, a partir desses resultados, calculando também a quantidade de unidades a serem implantadas, é possível a obtenção de dados de custo de implantação de acordo com a quantidade de unidades previstas e retirados os valores base da SINAPI, como mostrado na figura 4.14.

**Figura 4.14 Volume total das AVR**

Volume total AVRs	
AVR 1 (m <sup>3</sup> )	0.00
AVR 2 (m <sup>2</sup> )	0.00
AVR 3 (m <sup>2</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	0.00
Volume TC/ Volume BD Virtual (%)	#DIV/0!

Fonte: Autora, 2025.

A planilha também calcula automaticamente os custos de cada unidade e o custo total, em função sobretudo do volume da AVR (recorte na Figura 4.15). Deve-se observar que o custo da cobertura vegetal pode ou não ser considerado, uma vez que a AVR pode localizar-se onde já haveria uma área vegetada (gramada).

**Figura 4.15 Custos de Implantação AVR**

<b>Custos de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>AVR1</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 0.00
Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	R\$ 214.28	R\$ 0.00
Extravasor (un)	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Custo total implantação</b>	-	<b>R\$ 0.00</b>

Fonte: Autora, 2025.

Vale dizer que, a planilha pode ser adaptada para mais de uma AVR ou TC da mesma tipologia, mas com diferentes formatos, somente acrescentando mais colunas para AVR2, AVR3, etc. Esses diferentes tipos de AVR, por possuírem diferentes formatos, terão outros valores, então o tempo final de “quantidade” seria a somatória de todas aquelas AVR do mesmo formato em cada situação.

#### **4.1.5 Aba Poço de Infiltração**

Seguindo a mesma lógica e formato da aba AVR, a aba para Poços de Infiltração (Figura 4.16) também contempla o preenchimento de informações sobre dimensões, eventual porosidade interna, vazão afluyente em cada unidade, obtendo-se os mesmos resultados em termos de volumes de detenção e de infiltração, tempos de enchimento e de esvaziamento. Os volumes são totalizados em função do número de unidades a serem implantadas e é feita a comparação com a BD Virtual, obtendo-se a “eficiência” decorrente.

Os cálculos para dimensionamento de um poço de infiltração são a partir da obtenção da área e volume de um cilindro, mas precisando levar em consideração se irá infiltrar somente pelas paredes ou pelo fundo também.

Figura 4.16 Aba Poço de Infiltração

↑  
Proxima

↓  
Anterior

↓  
Inicio

Parâmetros		PI 1			PI 2			PI 3			Custo de Implantação			
<b>P</b>	D	Diâmetro	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Item	Valor	PI1
<b>O</b>	Ap	Área em planta	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 0.00
<b>Ç</b>	H	Altura	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Revestimento anéis (m)	R\$ 86.11	R\$ 0.00
<b>O</b>	V	Volume da unidade	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Brita (m <sup>3</sup> )	R\$ 89.80	R\$ 0.00
<b>D</b>	p	Índice de vazios	NA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	Extravadores (m)	R\$ 16.34	R\$ 0.00
<b>E</b>	Vd	Volume útil de detenção	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>E</b>	Ai	Área de infiltração	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>I</b>	Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.00000036	0.00000036	0.00000036	0.00000036	0.00000036	0.00000036	0.00000036	0.00000036	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>N</b>	cr	Redução da infiltração	NA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>I</b>	Ac	Vazão de infiltração	m <sup>3</sup> /h	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>N</b>	Ví	Volume infiltração	m <sup>3</sup>	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>F</b>	Qi	Área de contribuição	m <sup>2</sup>	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>I</b>	Q	Vazão afluente da unidade	m <sup>3</sup> /h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>L</b>	Vt	Volume de detenção total	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>T</b>	Te	Tempo de enchimento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>T</b>	Te	Tempo de enchimento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>R</b>	Tes	Tempo de esvaziamento	h	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>A</b>	Tes	Tempo de esvaziamento	min	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Ç</b>		Quantidade	unid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>Volume total poços</b>		
<b>Á</b>		Volume total	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	PI 1 (m <sup>3</sup> )		0.00
<b>O</b>		Volume infiltrado durante a chuva	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	PI 2 (m <sup>3</sup> )		0.00
		Percentual infiltrado durante a chuva	(%)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	PI 3 (m <sup>3</sup> )		0.00
												Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )		0.00
												Volume para BD (%)		#DIV/0!

Poco de Infiltracao - ABNT NBR 13969:1997

<
>

Informações Iniciais
Cálculos Pluviométricos
BD Virtual
AVR
Poço de Infiltração
Jardim de Chuva

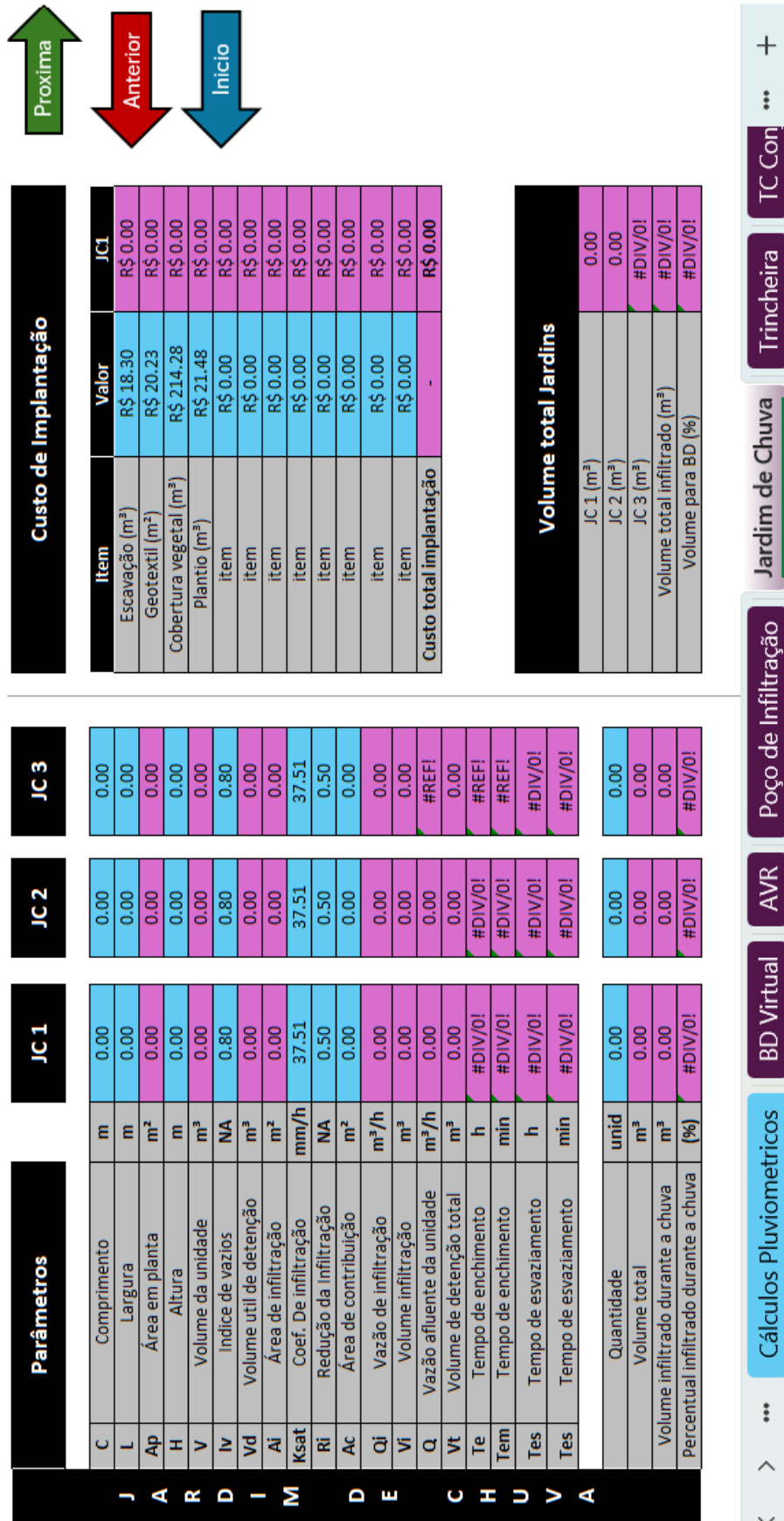
<
>

Da mesma forma, calculam-se os custos de implantação, sendo que, neste caso o revestimento (anéis de concreto ou alvenaria, acrescida ou não de manta geotêxtil) é geralmente obrigatório.

#### **4.1.6 Aba Jardim de Chuva**

A aba seguinte (Figura 4.17) contempla o Jardim de Chuva, com a mesma estrutura, forma de inserção de dados e resultados das TC anteriores. No aspecto referente aos custos, podem ser considerados os plantios de vegetação no interior dos jardins, embora sua quantificação possa ser um pouco mais difícil.

Figura 4.17 Aba Jardim de Chuva



Fonte: Autora, 2025.

Os cálculos para a obtenção do dimensionamento de um jardim de chuva são semelhantes aos da AVR, pois precisam ser considerados sua largura, profundidade e comprimento. Além disso, é necessário também se atentar ao tipo de vegetação a ser utilizada no local, o que pode acarretar na variação dos seus custos de implantação, pois algumas plantas nativas podem ser mais caras do que outras plantas mais populares.

Da mesma maneira que as AVR, os jardins de chuva podem ter diferentes formatos, tamanhos e combinações, podendo ser utilizados sozinhos ou com outra TC e principalmente como um elemento adicional no próprio paisagismo do local, sem precisar ter a função completamente voltada para a drenagem, mas também para a complementação de elementos que englobam o meio urbano com a natureza.

#### **4.1.7 Aba Trincheira**

Por fim, a planilha desenvolvida até o momento contempla a Trincheira como a quarta TC a ser avaliada. A aba (Figura 4.18) apresenta os mesmos cálculos e resultados das três abas anteriores.

As trincheiras têm seus cálculos de área e volume com os valores obtidos a partir de seu comprimento, largura e profundidade, mas diferentemente dos jardins de chuva ou das AVR, as trincheiras focam em ter um grande comprimento e uma largura sutil, possuindo usualmente a mesma forma de um retângulo.

Essa TC pode ter diversos tipos de enchimento, sendo apenas gramada, escavada ou com britas, o que contribui no seu custo de implantação. Para o exemplo estudado, foram utilizados dados de brita a fins de comparação de valores diferenciados entre as TC anteriormente citadas.

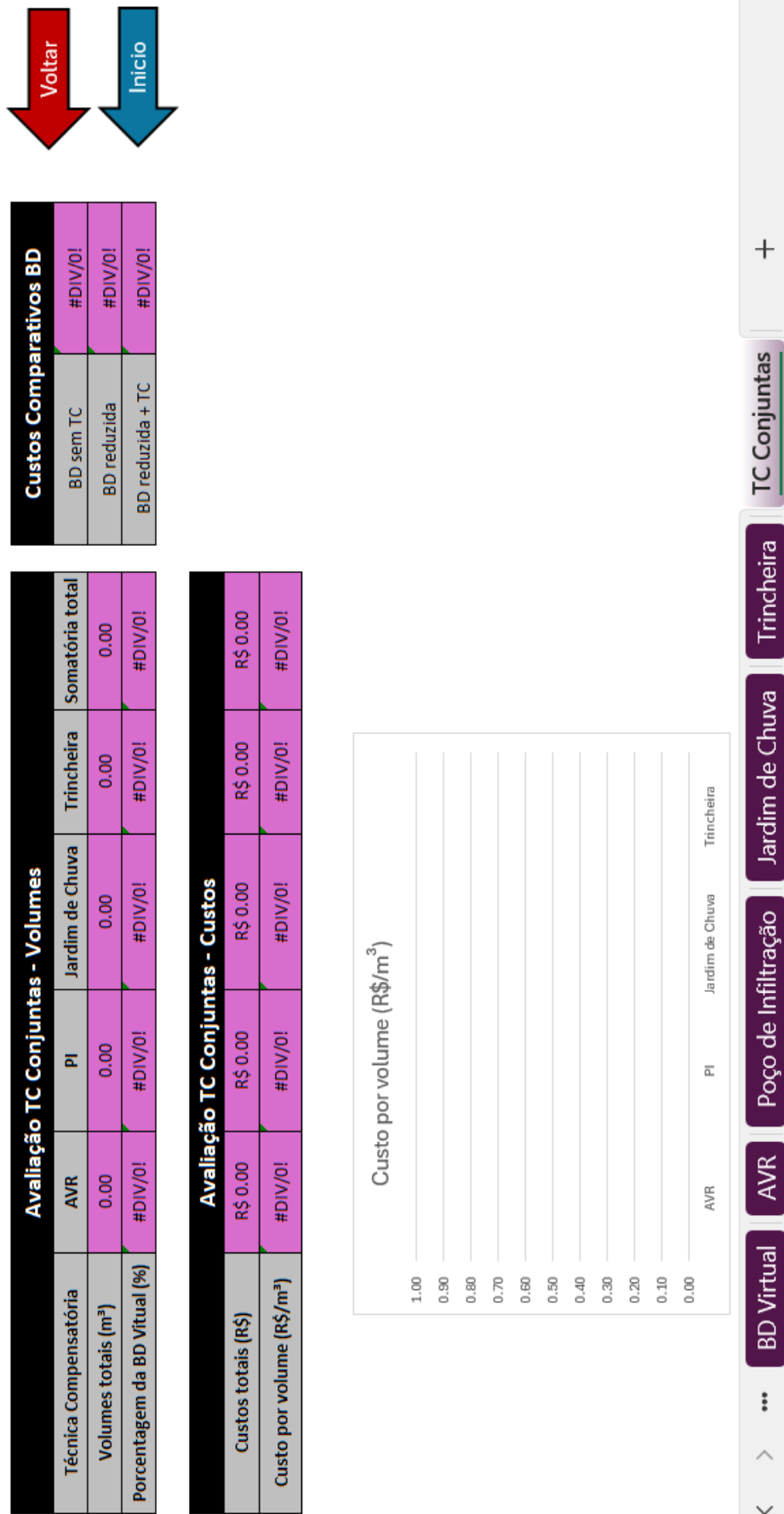


#### **4.1.8 Aba TC Conjuntas**

Por fim, foi elaborada uma aba (Figura 4.19) que faz a junção de todos os volumes e custos obtidos nas abas das TC estudadas na área em questão, (produto dos custos de cada técnica multiplicado pelo número delas), obtendo-se assim a porcentagem total de redução do volume da BD Virtual e, conseqüentemente, o efeito total decorrente das implantações.

Com relação aos aspectos financeiros, a comparação pode ser feita entre o custo de se ter somente a BD junto ao exutório (BD sem TC) com o custo de se ter uma BD reduzida acrescida pelo custo das TC que permitam esta redução (BD reduzida + TC).

Figura 4.19 Aba TC Conjuntas



Fonte: Autora, 2025.

## 4.2 Aplicações da planilha

Serão apresentadas neste tópico três aplicações da planilha desenvolvida, realizadas a partir de situações apresentadas em estudos anteriores de Peroni (2023) e Lopes (2021). O objetivo foi, além de demonstrar o funcionamento da planilha, estabelecer comparações entre os resultados obtidos nos diferentes casos.

Outras aplicações foram feitas ao longo e ao final da elaboração da planilha, mas não serão aqui descritos. Da mesma forma, para casos aqui apresentados, foram testadas simulações com alterações em diversos parâmetros (dados pluviométricos, coeficientes de escoamento, dimensões e número de unidades etc.), que também não serão descritas, limitando-se aos dados empregados nos estudos originais.

A facilidade com que estes dados podem ser alterados, com respostas automáticas e imediatas, é, aliás, uma das principais vantagens da planilha, permitindo que um número grande de situações possa ser investigado num curto período de tempo.

Deve-se atentar que os dados inseridos nas aplicações podem não ser necessariamente os mais adequados, mas foram mantidos para fins de comparação. No caso dos dados de custo, não há tal comparação, pois, os estudos anteriores não trataram deste aspecto, mas os custos unitários aqui adotados devem ser vistos com ressalvas, pois podem variar em função dos locais de implantação das unidades. Todos os dados utilizados no presente trabalho foram retirados da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) com valores atualizados datados de Janeiro de 2026.

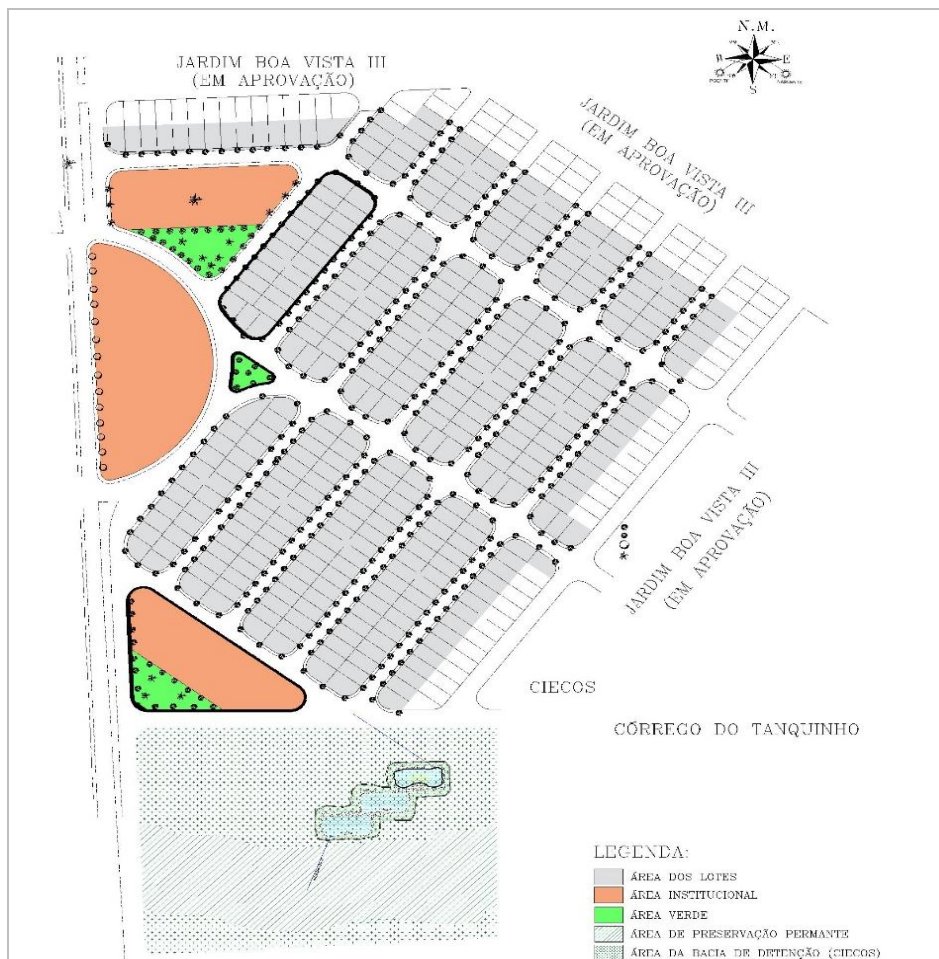
### 4.2.1 Aplicação 1: Loteamento Jardim Boa Vista II

A primeira área trabalhada foi o Loteamento Jardim Boa Vista II, localizado no município de Araraquara – SP, previamente estudado na tese de doutorado de Peroni (2023).

Peroni (2023) escolheu um loteamento (Jardim da Boa Vista II), localizado em Araraquara – SP (Figura 4.20), que foi dividido em 3 setores: um com grande disponibilidade de áreas públicas; um com pouca disponibilidade de áreas públicas e; um sem disponibilidade de áreas públicas. Nas áreas públicas e privadas, a autora estudou a possibilidade da utilização de AVR como TC escolhida no auxílio de minimizar os impactos do escoamento superficial da água de chuva. No presente

trabalho, foi estudado somente o setor C, considerando apenas as áreas de AVR como pequenas áreas de infiltração nos lotes.

**Figura 4.20 Jardim da Boa Vista II**



Fonte: Peroni, 2021.

Utilizando dos mesmos dados da autora, foram obtidos os seguintes valores de informações pluviométricas apresentados na Figura 4.21 (recorte da Aba Cálculos Pluviométricos).

**Figura 4.21 Informações Pluviométricas Jardim da Boa Vista II**

Dados da Planilha IDF	
T = período de retorno (anos)	10
t = duração da chuva (min)	30
tc = tempo de concentração (min) (tc = t)	30
i = intensidade da chuva (mm/h)	96,2
Área da bacia (m <sup>2</sup> )	73254,67
Altura da chuva (m)	0,0481
Volume da chuva (m <sup>3</sup> )	3524

Fonte: Autora, 2025.

Também, foram adotados os mesmos critérios do coeficiente de escoamento superficial adotados pela autora, para a obtenção das vazões pré e pós ocupação, como mostrado na figura 4.22.

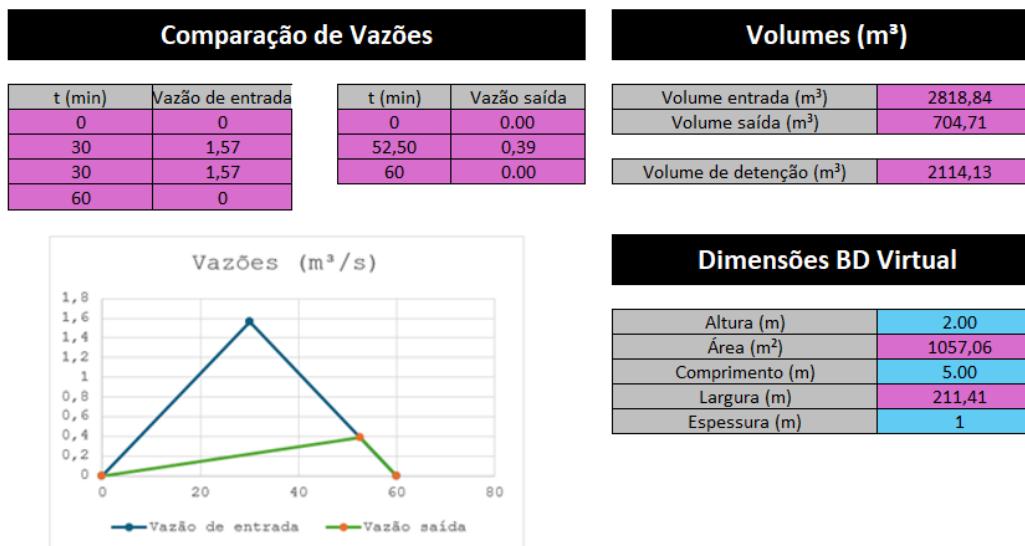
**Figura 4.22 Cálculos de Vazão Jardim da Boa Vista II**

Equação da Vazão: $Q = C \times I \times A$	
<b>Vazão Pré-ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área natural)	0,20
Q = Vazão Pré-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0,39
<b>Vazão Pós-Ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área urbanizada)	0,80
Q = Vazão Pós-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	1,57

Fonte: Autora, 2025

Os cálculos da BD Virtual são apresentados na respectiva aba, mostrada na Figura 4.23. A autora não chegou a definir as dimensões da BD, que foram aqui adotadas somente para o cálculo do custo da cobertura vegetal. A estimativa destes custos é mostrada no recorte da aba da Figura 4.24.

**Figura 4.23 BD Virtual Jardim da Boa Vista II**



Fonte: Autora, 2025.

**Figura 4.24 Custos de Implantação Jardim Boa Vista II**

<b>Custos de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>BD Virtual</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	38688,57
Revestimento (m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> )	R\$ 214.28	4111999,76
Extravasor (un)	R\$ 342.30	342,30
Bota-fora (geral)	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
<b>Custo total implantação</b>	<b>-</b>	<b>450704,67</b>

Fonte: Autora, 2025.

Na simulação feita por Peroni (2023), foi considerada a implantação de AVR gramada em 246 lotes do empreendimento urbano, cada uma com dimensões de 6m x 4m e profundidade de 15 cm. A autora não considerou, em seu método, a infiltração no momento da chuva. A planilha aqui desenvolvida faz este cálculo, mas o resultado mostra que tal infiltração é realmente desprezível, para o coeficiente de infiltração local. Assim, o volume de retenção total é o mesmo volume da unidade (3,6 m<sup>3</sup>). Esses valores poderiam ser diferentes caso a infiltração fosse mais favorável.

Com o volume de retenção total obtém-se o tempo de enchimento, que resultou igual nos dois métodos (14 minutos), o mesmo ocorrendo com o tempo de esvaziamento (23 h), resultados mostrados no recorte da aba na Figura 4.25.

Figura 4.25 AVR Jardim da Boa Vista II

Á R E A	Parâmetros		AVR 1	
	C	Comprimento	m	6.00
L	Largura	m	4.00	
Ap	Área em planta	m <sup>2</sup>	24.00	
H	Altura	m	0.15	
V	Volume da unidade	m <sup>3</sup>	3.60	
Iv	Índice de vazios	NA	1.00	
Vd	Volume útil de detenção	m <sup>3</sup>	3.60	
Ai	Área de infiltração	m <sup>2</sup>	24.00	
Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.0000036	
Ri	Redução da infiltração	NA	0.50	
Qi	Vazão de infiltração	m <sup>3</sup> /h	0.000043	
Vi	Volume de infiltração	m <sup>3</sup>	0.000022	
Ac	Área de contribuição	m <sup>2</sup>	200.00	
Q	Vazão afluyente da unidade	m <sup>3</sup> /h	15.39	
Vt	Volume de detenção total	m <sup>3</sup>	3.60	
Te	Tempo de enchimento	h	0.23	
Tem	Tempo de enchimento	min	14.04	
Tes	Tempo de esvaziamento	h	23.15	
Tes	Tempo de esvaziamento	min	1388.89	
B A I X A D A	Quantidade	unid	246.00	
	Volume total	m <sup>3</sup>	885.61	
	Volume infiltrado durante a chuva	m <sup>3</sup>	0.01	
	Percentual infiltrado durante a chuva	(%)	0.0006%	

Fonte: Autora, 2025.

O volume total de detenção pelas AVR calculado na presente planilha foi de 885 m<sup>3</sup>. Peroni (2023) não calculou especificamente este valor (embora pudesse ser deduzido facilmente e é o mesmo), pois seu método consistia na obtenção de um novo hidrograma de entrada na BD, método bem mais trabalhoso e de difícil automatização.

A partir do volume total de 885 m<sup>3</sup>, obtém-se a redução do volume da BD (originalmente de 2114 m<sup>3</sup>, conforme aba BD Virtual), que foi de 42%; ou seja, a BD passaria a ter 68% do volume original (resultados apresentados no recorte da aba na Figura 4.26)

Figura 4.26 Volume total de AVR Jardim da Boa Vista II

Volume total AVRs	
AVR 1 (m <sup>3</sup> )	885.61
AVR 2 (m <sup>2</sup> )	0.00
AVR 3 (m <sup>2</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	885.61
Volume TC/ Volume BD Virtual (%)	41.89%

Fonte: Autora, 2025.

Com relação aos custos, considerando valores extraídos da SINAPI somente para escavação e cobertura vegetal, a estimativa para a BD Virtual foi de cerca de R\$ 450 mil (ver Figura 4.24). Já o custo total das TC chegou a R\$ 206 mil (Figura 4.27).

**Figura 4.27 Custo de Implantação Jardim da Boa Vista II**

<b>Custos de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>AVR1</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 65.88
Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	R\$ 214.28	R\$ 5,142.72
Extravasor (un)	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Custo total implantação</b>	-	<b>205972,85</b>

Fonte: Autora, 2025.

A comparação final de custos considera a BD reduzida mais o custo das TC (BD mais TC), ou seja, 68% de R\$ 450 mil (R\$ 306 mil) mais R\$ 206 mil, totalizando R\$ 512 mil. Assim, neste caso, a implantação das AVR acarretaria um acréscimo de 14% em comparação a se implantar somente uma BD de 2114 m<sup>3</sup>.

O exemplo apresentado visa mostrar a praticidade e facilidade de uso da planilha em termos de comparar os custos, mas os valores adotados não devem ser considerados como referência, necessitando ser obtidos em cada situação real. Assim, os valores adotados para escavação e cobertura com grama, que na aplicação foram iguais, podem ser diferentes ao se considerar volumes pequenos ou grandes (3,6 m<sup>3</sup> ou 885 m<sup>3</sup>).

#### **4.2.2 Aplicação 2: Parte de quadra residencial em Araraquara – SP**

Para efeito de uma segunda aplicação, foram refeitos os cálculos obtidos de maneira manual na dissertação de mestrado de Lopes (2021), a título de comparação e verificação dos resultados obtidos.

Naquele estudo, a autora utilizou duas TC diferentes: trincheira e poço de infiltração, utilizando como referência um quarteirão residencial na cidade de Araraquara-SP. Como área de contribuição foi adotada um polígono trapezoidal a partir do meio do quarteirão, mais um retângulo correspondente a meia pista de rolamento rua, resultando uma bacia de contribuição de 4000 m<sup>2</sup>, como mostrado na Figura 4.28

**Figura 4.28** Área de Contribuição da Aplicação 2 (unidades em metros)



Fonte: Lopes, 2021.

Com as mesmas informações pluviométricas utilizadas pela autora (Figura 4.29), a fins de simplificação para a comparação de resultados já obtidos anteriormente, foi considerando uma duração de chuva de 20 minutos, foram obtidos os valores de vazão de pré-ocupação de 0,02 m<sup>3</sup>/s e pós ocupação de 0,09 m<sup>3</sup>/s (Figura 4.30). No trabalho original foram feitos pequenos arredondamentos que resultaram em variações entre os resultados.

**Figura 4.29** Informações Pluviométricas - Araraquara

Dados da Planilha IDF	
T = período de retorno (anos)	2
t = duração da chuva (min)	20
tc = tempo de concentração (min) (tc = t)	20
i = intensidade da chuva (mm/h)	86,2
Área da bacia (m <sup>2</sup> )	4000
Altura da chuva (m)	0,0287
Volume da chuva (m <sup>3</sup> )	115

Fonte: Autora, 2025.

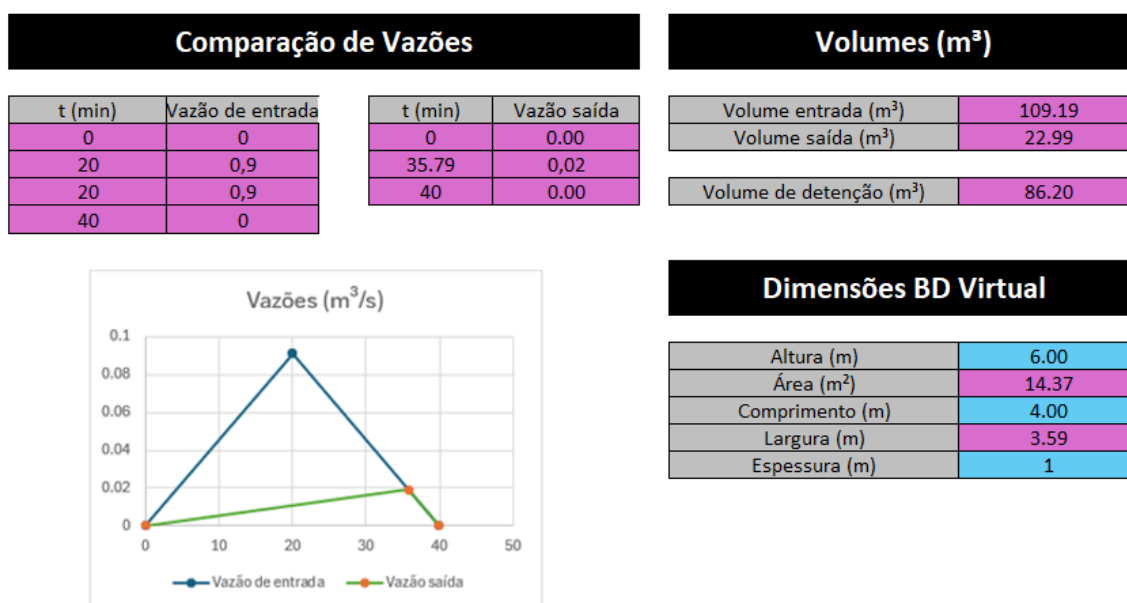
**Figura 4.30 Cálculo das Vazões pré e pós ocupação - Araraquara**

Equação da Vazão: $Q = C \times I \times A$	
<b>Vazão Pré-ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área natural)	0,20
Q = Vazão Pré-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0,02
<b>Vazão Pós-Ocupação</b>	
C = Coeficiente de Runoff (área urbanizada)	0,95
Q = Vazão Pós-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0,9

Fonte: Autora, 2025

Em seguida, foi dimensionada a BD Virtual (Figura 4.31), cujo volume resultou em 86,2 m<sup>3</sup>.

**Figura 4.31 Cálculo da BD Virtual - Araraquara**



Fonte: Autora, 2025.

Os custos estimados de implantação da BD virtual seriam de R\$22,5 mil, mostrados na Figura 4.32:

**Figura 4.32 Custo de Implantação BD Virtual - Araraquara**

<b>Custos de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>BD Virtual</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	1557,46
Revestimento (m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> )	R\$ 214.28	20909,44
Extravasor (un)	R\$ 342.30	342,30
Bota-fora (geral)	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
<b>Custo total implantação</b>	<b>-</b>	<b>22503,24</b>

Fonte: Autora, 2025.

A seguir, foi feita a simulação considerando-se somente a trincheira ao longo de 100 m do quarteirão, com largura de 0,80m e altura de 0,60 m. Considerou-se que esta TC receberia a vazão de toda a área de contribuição (4000 m<sup>2</sup>), atuando isoladamente. O recorte da planilha com os cálculos para a trincheira é apresentado na Figura 4.33.

Figura 4.33 Trincheira Araraquara

		Parâmetros		T 1
T R I N C H E I R A	C	Comprimento	m	100.00
	L	Largura	m	0.80
	Ap	Área em planta	m <sup>2</sup>	80.00
	H	Altura	m	0.60
	V	Volume da unidade	m <sup>3</sup>	48.00
	Iv	Índice de vazios	NA	0.50
	Vd	Volume útil de detenção	m <sup>3</sup>	24.00
	Ai	Área de infiltração	m <sup>2</sup>	220.00
	Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.0000036
	Ri	Redução da Infiltração	NA	1.00
	Ac	Vazão de infiltração	m <sup>3</sup> /h	0.0008
	Vi	Volume infiltração	m <sup>3</sup>	0.00026
	Qj	Área de Contribuição	m <sup>2</sup>	4000.00
	Q	Vazão afluente da unidade	m <sup>3</sup> /h	310,32
	Vt	Volume de detenção total	m <sup>3</sup>	24.00
	Te	Tempo de enchimento	h	0,00773
	Tem	Tempo de enchimento	min	4,64
	Tes	Tempo de esvaziamento	h	8.42
	Tes	Tempo de esvaziamento	min	505.05
		Quantidade	unid	1.00
	Volume total	m <sup>3</sup>	24.00	
	Volume infiltrado durante a chuva	m <sup>3</sup>	0.00026	
	Percentual infiltrado durante a chuva	(%)	0.0011%	

Fonte: Autora, 2025.

Os resultados foram similares ao estudo anterior, com tempo de enchimento de 4,6 minutos (contra 4 minutos) e de esvaziamento de 8,4 horas (contra 8,2 horas).

O volume de redução da BD Virtual (Figura 4.34) foi de 27,84% contra 20% no estudo inicial, valores um pouco diferentes, mas compatíveis com o arredondamento de vazão feito no cálculo manual.

Figura 4.34 Volume total Trincheiras - Araraquara

Volume total Trincheiras	
T1 (m <sup>3</sup> )	24.00
T2 (m <sup>3</sup> )	0.00
T3 (m <sup>3</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	24.00
Volume para BD (%)	27.84%

Fonte: Autora, 2025.

A estimativa de custo da trincheira foi de aproximadamente R\$9 mil (Figura 4.35).

**Figura 4.35 Custo de Implantação Trincheira Araraquara**

<b>Custo de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>T1</b>
Escavação (m³)	R\$ 18.30	R\$ 878.40
Geotêxtil (m²)	R\$ 20.23	R\$ 4,046.00
Brita (m³)	R\$ 89.80	R\$ 4,310.40
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Custo total implantação</b>	-	<b>9234,80</b>

Fonte: Autora, 2025.

Para o cálculo dos poços de infiltração, foram consideradas 10 unidades, cada uma com 2 m de diâmetro e 2 m de altura, recebendo cada uma 10% do escoamento (ou seja, atendendo uma área de 4000 m²). Esses poços terão agregado seu valor final juntamente com a trincheira na análise final. Os cálculos para os poços aparecem na Figura 4.36.

**Figura 4.36 Poços de Infiltração Araraquara**

<b>P O Ç O D E I N F I L T R A Ç Ã O</b>	<b>Parâmetros</b>		<b>PI 1</b>
	D	Diâmetro	m
Ap	Área em planta	m²	3.14
H	Altura	m	2.00
V	Volume da unidade	m³	6.28
p	Índice de vazios	NA	1.00
Vd	Volume útil de detenção	m³	6.28
Ai	Área de infiltração	m²	12.56
Ksat	Coef. De infiltração	m/h	0.0000036
cr	Redução da infiltração	NA	1.00
Ac	Vazão de infiltração	m³/h	0.000045
Vi	Volume infiltração	m³	0.000015
Qj	Área de contribuição	m²	400.00
Q	Vazão afluyente da unidade	m³/h	31.03
Vt	Volume de detenção total	m³	6.28
Te	Tempo de enchimento	h	0.20
Te	Tempo de enchimento	min	12.14
Tes	Tempo de esvaziamento	h	38.6
Tes	Tempo de esvaziamento	min	2314.81
	Quantidade	unid	10.00
	Volume total	m³	62.80
	Volume infiltrado durante a chuva	m³	0.00015
	Percentual infiltrado durante a chuva	(%)	0.00024%

Fonte: Autora, 2025.

Os valores também resultaram compatíveis com os do estudo anterior, descontado o arredondamento já mencionado (diferença de 2 minutos a mais no tempo de enchimento e 3 horas a mais no tempo de esvaziamento). Aliás, o tempo de esvaziamento resultou elevado (38 h), o que poderia comprometer a possibilidade de uso dos poços de infiltração

Foi obtida uma redução de 72% do volume da BD Virtual (Figura 4.37), que pode ser considerado significativo.

**Figura 4.37 Volume total poços**

<b>Volume total poços</b>	
PI 1 (m <sup>3</sup> )	62.80
PI 2 (m <sup>3</sup> )	0.00
PI 3 (m <sup>3</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	62.80
Volume para BD (%)	72,85%

Fonte: Autora, 2025.

Para os custos de implantação, foram estimados valores de R\$1.750,34 por unidade ou R\$17.503,43 para as 10 unidades consideradas (Figura 4.38).

**Figura 4.38 Custo de Implantação Poços de Infiltração Araraquara**

<b>Custo de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>PI1</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	R\$ 114.92
Revestimento aneis (m)	R\$ 86.11	R\$ 1,081.54
Brita (m <sup>3</sup> )	R\$ 89.80	R\$ 563.94
Extravasores (m)	R\$ 16.34	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Custo total implantação</b>		<b>R\$ 17,604.10</b>

Fonte: Autora, 2025.

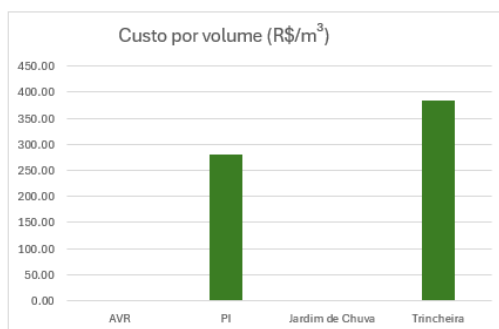
Foi também feita uma avaliação do uso simultâneo das duas tipologias de TC, possível na aba TC Conjuntas (Figura 4.39), resultando numa “eficiência” de 100%, ou seja, a implantação da trincheira e dos 10 poços de infiltração teria o efeito equivalente ao da BD Virtual.

Figura 4.39 Avaliação de TC Conjuntas

Avaliação TC Conjuntas - Volumes						Custos Comparativos BD	
Técnica Compensatória	AVR	PI	Jardim de Chuva	Trincheira	Somatória total	BD sem TC	22503,24
Volumes totais (m <sup>3</sup> )	0.00	62.80	0.00	24.00	86.80	BD reduzida	89,21
Porcentagem da BD Virtual (%)	0%	72,85%	#DIV/0!	28%	101%	BD reduzida + TC	26827,44

Avaliação TC Conjuntas - Custos					
Custos totais (R\$)	R\$ 0.00	R\$ 17,604.10	R\$ 0.00	9234,80	26827,44
Custo por volume (R\$/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!	280.32	#DIV/0!	384.78	#DIV/0!

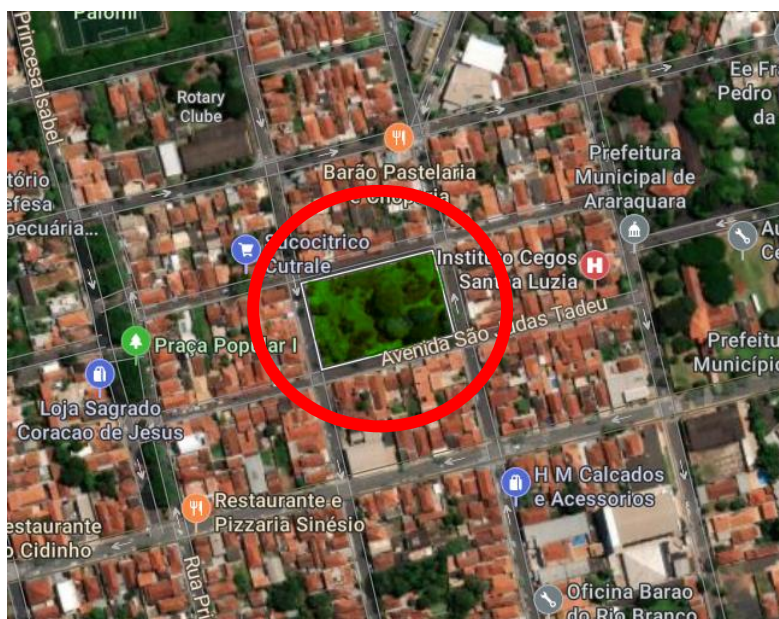


Fonte: Autora, 2025.

Com relação ao custo, a adoção simultânea das duas tipologias de TC acarretaria um acréscimo de R\$ 4,5 mil, passando de R\$ 22,5 mil (somente a BD) para R\$ 27 mil (somente as TC), valor que poderia ser considerado razoável, tendo em vista inclusive a impossibilidade de construção da BD na área já urbanizada.

### 4.2.3 Aplicação 3: AVR em Praça em Araraquara – SP

Também no município de Araraquara-SP, foi estudada uma região urbanizada situada na microbacia do Córrego da Servidão, em área predominantemente residencial no bairro da Vila Xavier, contando como espaço disponível na Praça Coronel João de Almeida Leite (Praça Popular 2) para a implantação de uma AVR. Essa praça possui aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> (Google Maps, 2025). A Figura 4.40 mostra a localização e a Figura 4.41 uma vista da praça.

**Figura 4.40 Praça Popular 2 – Localização**

Fonte: Google Maps, 2025, adaptado.

**Figura 4.41 Praça Popular 2 - Vista**

Fonte: Lopes, 2021

Os cálculos pluviométricos são apresentados Figura 4.42. A área de contribuição foi de 100.000 m<sup>2</sup>, correspondentes aos quarteirões do entorno da praça, o mesmo valor adotado no estudo anterior. As vazões de pré e pós ocupação resultaram em 0,48 m<sup>3</sup>/s e 2,27 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

Figura 4.42 Aba de Cálculos Pluviométricos - AVR Praça

Dados da Planilha IDF	
T = período de retorno (anos)	2
t = duração da chuva (min)	20
tc = tempo de concentração (min)	20
i = intensidade da chuva (mm/h)	86,2
Área da bacia (m <sup>2</sup> )	10000
Altura da chuva (m)	0,0287
Volume da chuva (m <sup>3</sup> )	2873

Equação para cálculo de IDF	
a = fator de intensidade base, depende diretamente do tempo de retorno (T)	0
b = fator de ajuste para duração da chuva (min)	0
c = fator de declínio, normalmente esta entre 0,6 e	0
T = período de retorno (anos)	0
t = duração da chuva (min)	0
i = intensidade da chuva (mm/h)	0

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$
  

Equação da Vazão: Q = C x I x A	
Vazão Pré-ocupação	
C = Coeficiente de Runoff (área natural)	0,20
Q = Vazão Pré-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	0,48
Vazão Pós-ocupação	
C = Coeficiente de Runoff (área urbanizada)	0,95
Q = Vazão Pós-Ocupação (m <sup>3</sup> /s)	2,27

Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos								
K(m/s)	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
Tipos de solo	seixos sem areia nem elementos finos		Areia com seixos, areia grossa a areia fina			Areia muito fina, silte grosso a silte argiloso		
Possibilidade de infiltração	Excelentes		Boas			Médias a baixas		

Fonte: Autora, 2025.

Em seguida, calculou-se a BD Virtual (Figura 4.43), cujo volume resultou em 2155 m<sup>3</sup>.

Figura 4.43 Cálculo da BD Virtual - AVR Praça

Comparação de Vazões	
t (min)	Vazão de entrada
0	0
20	2,27
20	2,27
40	0

t (min)	Vazão saída
0	0,00
35,79	0,48
40	0,00

Volumes (m <sup>3</sup> )	
Volume entrada (m <sup>3</sup> )	2729.67
Volume saída (m <sup>3</sup> )	574.67
Volume de detenção (m <sup>3</sup> )	2155.00

Dimensões BD Virtual	
Altura (m)	30.00
Área (m <sup>2</sup> )	71.83
Comprimento (m)	30.00
Largura (m)	2.39
Espessura (m)	1

Fonte: Autora, 2025.

Os custos também foram estimados, conforme mostrado na Figura 4.44, resultando em cerca de R\$ 460 mil.

**Figura 4.44 Custos BD Virtual - AVR Praça**

<b>Custos de Implantação</b>		
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>BD Virtual</b>
Escavação (m <sup>3</sup> )	R\$ 18.30	39436.5
Revestimento (m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> )	R\$ 214.28	431881.34
Extravasor (un)	R\$ 342.30	342,30
Bota-fora (geral)	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
item	R\$ 0.00	
Item	R\$ 0.00	
<b>Custo total implantação</b>	<b>-</b>	<b>459334.5</b>

Fonte: Autora, 2025.

A área estudada pela autora para a implantação da AVR foi de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  da praça, sendo considerado como uma área verde utilizável. As dimensões adotadas foram de 40 x 50 m e uma profundidade de 0,50 m. Os cálculos correspondentes à AVR são apresentados na respectiva aba (Figura 4.45). A área de contribuição foi de 100.000 m<sup>2</sup>, correspondentes aos quarteirões do entorno da praça, o mesmo valor adotado no estudo anterior.#

**Figura 4.45 AVR Praça em Araraquara**

Fonte: Autora, 2025.

Deste modo, a redução obtida para a BD Virtual foi de 46,4%, conforme Figura 4.46.

**Figura 4.46 Volume total da AVR**

<b>Volume total AVRs</b>	
AVR 1 (m <sup>3</sup> )	1000.00
AVR 2 (m <sup>2</sup> )	0.00
AVR 3 (m <sup>2</sup> )	0.00
Volume total infiltrado (m <sup>3</sup> )	1000.00
Volume TC/ Volume BD Virtual (%)	46.40%

Fonte: Autora, 2025.

O custo estimado desta AVR seria de aproximadamente R\$ 447 mil (Figura 4.47)

Figura 4.47 Custo AVR em Praça

Custos de Implantação		
Item	Valor	AVR1
Escavação (m³)	R\$ 18.30	R\$ 18,300.00
Cobertura vegetal (m²)	R\$ 214.28	R\$ 428,560.00
Extravasor (un)	R\$ 16.34	R\$ 16.34
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
item	R\$ 0.00	R\$ 0.00
<b>Custo total implantação</b>	-	<b>446876,34</b>

Fonte: Autora, 2025.

Por fim, foi possível fazer a análise na aba TC Conjuntas (Figura 4.48), mostrando o efeito da implantação dessa AVR única na praça. Embora reduzindo em 46% o volume da BD Virtual (Figura 4.46), o custo da TC mais a BD reduzida chegaria a R\$ 693 mil, acima do valor da BD integral (R\$ 460 mil).

Figura 4.48 Avaliação TC Conjuntas – Volumes Araraquara

Avaliação TC Conjuntas - Volumes						Custos Comparativos BD	
Técnica Compensatória	AVR	PI	Jardim de Chuva	Trincheira	Somatória total	BD sem TC	R\$ 459,334.50
Volumes totais (m³)	1000.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	BD reduzida	R\$ 246,185.73
Porcentagem da BD Virtual (%)	46%	0%	0%	0%	46%	BD reduzida + TC	693,062.07

Avaliação TC Conjuntas - Custos					
Custos totais (R\$)	R\$ 446,876.34	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 446,876.34
Custo por volume (R\$/m³)	446.88	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Fonte: Autora, 2025.

### 4.3 Considerações Gerais sobre a Planilha

A planilha automatizada desenvolvida representa um avanço na forma como podem ser abordados o dimensionamento e a viabilidade financeira das Técnicas Compensatórias (TC), oferecendo uma alternativa prática, rápida, acessível e confiável frente aos métodos convencionais.

A estrutura da ferramenta, dividida em oito abas temáticas, permite uma abordagem integrada que contempla desde os cálculos pluviométricos até a análise comparativa entre diferentes técnicas. Essa organização facilita o uso por profissionais com diferentes níveis (projetistas, analistas, gestores), promovendo maior autonomia e

objetividade na elaboração e avaliação de projetos. A possibilidade de simular cenários com dados reais ou estimados, amplia ainda mais o alcance da ferramenta, tornando-a útil mesmo em contextos com escassez de dados históricos.

Nesse ponto reside talvez a principal contribuição do método desenvolvido, pois a automação da planilha permite que se façam, em poucos segundos ou minutos, a alteração dos dados de entrada, com a obtenção imediata de novos resultados.

De modo geral, é possível alterar cada um, algum ou todos os dados a seguir:

- Dados pluviométricos/hidrológicos: tempo de retorno, duração da chuva (que deve ser o mesmo do tempo de concentração), área da bacia de contribuição, coeficientes de escoamento superficial, coeficiente de infiltração;
- Dados das TC: tipologia, dimensões, número de unidades
- Dados de custos: custos a serem considerados, valores unitários.

Embora contendo até o momento quatro tipologias de TC, pode-se trabalhar considerando uma, duas, três ou quatro, bastando para isto colocar o valor “zero” no número de unidades da(s) TC não prevista(s). Tipologias adicionais poderão ser facilmente adicionadas, uma vez que a estrutura de cálculo é a mesma para todas.

Assim, há uma flexibilidade da planilha em adaptar-se a diferentes tipos de TC. Ao manter uma estrutura padronizada para cada técnica, o usuário pode facilmente comparar resultados e tomar decisões mais embasadas. A aba de TC Conjuntas, por exemplo, permite avaliar o impacto combinado das técnicas, oferecendo uma visão sistêmica e estratégica para o planejamento.

Vale ressaltar a importância do custo do solo urbano, onde muitos casos acaba sendo inviável a implantação de BD pela não previsão de seus usos, enquanto outras TC consideradas podem prever, sendo assim um valor significativo a ser considerado no custo de obra para a sua utilização, e muitas vezes se tornando inviável por essas questões.

As aplicações práticas nos espaços urbanos de Araraquara, utilizando dados previamente estudados por Peroni (2023) e Lopes (2021), reforçam a confiabilidade da planilha, pois os resultados foram, quando passíveis de comparação, bastante próximos aos daquelas autoras e obtidos de forma muito mais rápida e simples. Uma característica da planilha é seu caráter intuitivo, que permite aprimorar o entendimento técnico sobre os processos hidrológicos envolvidos.

Duas constatações hidrológicas, nem sempre consideradas adequadamente, ficaram evidenciadas na concepção e nos resultados da aplicação da planilha: o fator primordial

para avaliar os efeitos de uma TC é o seu volume de detenção e a infiltração durante o evento de precipitação é pouco significativo, mas é importante para o tempo de esvaziamento da unidade.

Do ponto de vista financeiro, os valores teóricos adotados indicaram um acréscimo no custo envolvendo as TC, mas, conforme explicitado, é necessário que valores locais sejam adotados em cada situação real. A obtenção deste resultado “desfavorável” financeiramente é importante, por um lado, para demonstrar que as TC apresentam suas limitações e seu uso nem sempre será indicado ou possível. Por outro, indica que uma escolha de alternativas não pode ser baseada apenas em questões econômicas. Por exemplo, a redução de 42% no volume de uma BD, associada a implantação de TC, pode viabilizar sua implantação numa situação já urbanizada, onde a disponibilidade de áreas é limitada. Isto sem considerar outras vantagens das TC, sejam ambientais (favorecimento da infiltração, cobertura vegetal, integração urbana etc.) ou mesmo financeiras (implantação escalonada, compartilhamento de custos, incentivos para adoção etc.)

É importante também dizer que cada tipo de TC possui suas limitações de adoção e que isso deve ser considerado para a sua escolha. Além dos indicadores, existem algumas situações que são específicas para alguns tipos de TC que devem ser consideradas antes de sua implantação, como por exemplo, não faz sentido a implantação de uma AVR em um terreno inclinado, desta maneira, sua drenagem seria feita somente em um determinado ponto, sendo assim, a melhor escolha de uma TC de uso centralizado, como um poço de infiltração.

#### **4.4 Sistematização de variáveis e indicadores para áreas já urbanizadas**

Conforme já explicitado no início desta Tese, o conteúdo deste tópico passou, no decorrer da pesquisa, a ter um caráter secundário, servindo como um roteiro de aspectos a serem considerados nos casos em que a implantação de TC ocorra em áreas já urbanizadas. Ou seja, servem para complementar a tomada de decisão sobre o uso das TC, após os estudos hidrológicos e financeiros efetivados por meio da planilha anteriormente apresentada.

Partindo do trabalho realizado por Lopes (2021) e com a nova busca bibliográfica, foi possível encontrar variáveis significativas para a implantação de TC em meios já

urbanizados. Além disso, foi possível propor indicadores referentes às variáveis sugeridas.

A seguir, são descritas cada uma das variáveis que podem vir a ser consideradas, com seus respectivos indicadores propostos.

- **Área Superficial Ocupada pela TC:** Como avaliado anteriormente, a necessidade de grandes áreas para a implantação de TC é, muitas vezes, inviável para algumas cidades por não possuírem disponibilidade de espaço suficiente, sendo um desafio a utilização de TC de grande porte em locais onde o espaço seja menor do que o mínimo suficiente que aquela TC exige.  
**Principais indicadores:** metragem quadrada e porcentagem de ocupação em relação a área disponível.
- **Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas:** As bacias de detenção, por exemplo, necessitam de grandes espaços contínuos para sua implantação. Sendo assim, locais com alta densidade de urbanização podem não dispor de tais espaços, o que pode levar à adoção de unidades menores, descentralizando os efeitos da implantação.  
**Principais indicadores:** metragem quadrada mínima necessária e possibilidade de divisão da TC.
- **Esforços e Vibrações Externas:** Efeitos decorrentes de circulação de veículos ou outras fontes de vibrações ou esforços externos podem comprometer estruturas, em especial aquelas enterradas, condicionando a localização e a tipologia das mesmas.  
**Principais indicadores:** intensidade de tráfego local e distância mínima indicada.
- **Interferência com Instalações Subterrâneas:** A presença de redes de infraestrutura ou outros dispositivos subterrâneos, inclusive fundações de edificações, é frequente em áreas urbanizadas e pode interferir com TC que sejam enterradas ou rebaixadas em relação ao nível do terreno, o que é bastante comum.

**Principais indicadores:** Profundidade da TC e presença de estruturas subterrâneas.

- **Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente:** Em locais já urbanizados pode haver sistema de drenagem implantado e a inserção de TC deve levar isso em conta, pela possibilidade da integração e aproveitamento e para não acarretar interferências prejudiciais.

**Principais indicadores:** existência e tipologia do sistema de drenagem.

- **Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas:** Algumas TC podem ser implantadas em áreas privadas, o que pode ser opcional ou obrigatório em função de legislação. Estas possibilidades devem ser consideradas, uma vez que a disponibilidade de áreas públicas pode ser insuficiente e, além disso, favorece o controle na fonte.

**Principais indicadores:** metragem quadrada e disponibilidade de espaço.

- **Disponibilidade de Áreas Públicas:** Áreas públicas como praças, parques, canteiros centrais, áreas verdes e institucionais, entre outras, podem ser adequadas para a implantação de TC, mantendo suas funções e características originais ou mesmo melhorando suas condições, a partir de soluções integradas com o ambiente local.

**Principais indicadores:** metragem quadrada e disponibilidade de espaço

- **Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes:** Em centros urbanos quando há a necessidade de paralização do trânsito ou o bloqueio de certos locais para a construção ou manutenção de obras, podem surgir conflitos com as atividades que já ocorrem ali, necessitando de estratégias para que não provoquem prejuízos ou estorvos para a atividade econômica e a população local.

**Principais indicadores:** tempo médio de construção da TC, presença de atividade econômica e intensidade de circulação de pessoas e veículos no local.

- **Aceitação Pela População:** Antes da implantação de uma TC, é necessário avaliar todos seus aspectos para saber se a população próxima ao local irá aceitar sua construção, precisando assim, que a TC traga vantagens que facilitem essa aceitação. Devido à ocupação do espaço, a geração de resíduos ou vetores em função das TC, pode haver resistência quanto à sua implantação, sendo necessário estratégias de comunicação e procedimentos de minimização dos impactos.

**Principais indicadores:** possibilidade de integração com o entorno e geração de impactos.

- **Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos:** Por serem espaços abertos com áreas geralmente grandes, apresentam boas possibilidades de implantação de TC, seja diretamente na superfície de circulação (por exemplo, superfícies drenantes, seja em espaços periféricos.

**Principais indicadores:** metragem quadrada e máximo de peso suportado sobre a TC.

- **Possibilidade de Usos Múltiplos:** Sempre que possível, as TC devem ser concebidas de modo a permitir outros usos, o que pode favorecer sua aceitação e sua manutenção ao longo do tempo, valorizando áreas que podem estar degradadas. Usos paisagísticos e recreacionais são os mais comuns.

**Principais indicadores:** possibilidade de integração com o entorno e possibilidade de utilizações secundárias

- **Possibilidade de Reurbanização da Área:** Áreas em reurbanização são áreas já urbanizadas que passam por uma organização ou melhoria em sua infraestrutura, sendo então, desejável aproveitar esse momento para avaliar a implantação de TC. Locais em reurbanização tem maior aderência para a utilização de TC, pois podem ser vistas como “novas” urbanizações e serem mais bem estruturados do que um local com urbanização fixa e sem capacidade de se adaptar a mudanças.

**Principais indicadores:** metragem quadrada e disponibilidade de espaço.

- **Ocorrência de Fraudes ou Usos Indevidos:** Áreas já urbanizadas podem ser mais propícias a usos indevidos das TC, seja em função de práticas anteriores nos locais de implantação, seja por eventual facilidade de novas práticas pela população local, sobretudo quando há resistência à TC. Como por exemplo, a construção de uma TC exigida pela prefeitura somente para aprovação de um projeto ou regularização e logo após o aceite, ser desmanchada.

**Principais indicadores:** número de ocorrências de eventos indevidos ou fraudes.

- **Efeito da infiltração em estruturas já existentes:** Os processos de infiltração da água pluvial no solo, frequente em diversos tipos de TC, podem afetar construções abaixo do nível do terreno, como porões, pavimentos rebaixados e garagens subterrâneas, causando umidade ou mesmo comprometendo estruturas.

**Principais indicadores:** profundidade da TC, proximidade com construções, capacidade de infiltração do solo.

A aplicação das variáveis listadas pode se dar em dois momentos:

- Ao se definir quais TC serão estudadas ou descartadas previamente num determinado contexto, antes mesmo de serem dimensionadas ou terem seus efeitos hidrológicos avaliados;
- ou após essa avaliação hidrológica e financeira, quando poderão ser utilizadas como critérios de escolha entre diferentes opções.

Como exemplos de considerações práticas sobre as variáveis, tem-se:

- Locais em que a proliferação de mosquitos vetores é um problema de saúde pública, as TC que gerem lâminas d'água persistentes devem ser descartadas;
- BD ou AVR podem ser implantadas em áreas verdes públicas abandonadas, que passariam a ter uso e manutenção;
- Distribuição do volume de uma BD entre diversas TC de menor porte e devidamente localizadas;

- Rebaixamento de poucos centímetros nos canteiros centrais e rotatórias gramadas, que passam a funcionar com AVR, recebendo águas pluviais do entorno;
- Processos de reurbanização podem se basear na metodologia LID ou similar, incorporando a gestão das águas pluviais desde a concepção inicial.

## 5 Conclusões e Recomendações

Em um cenário de mudanças climáticas e aumento da frequência de eventos extremos, a busca de soluções mais adequadas torna-se desejável para promover cidades mais resilientes e sustentáveis. A capacidade de integrar aspectos técnicos e econômicos em uma única plataforma representa um avanço na eficiência dos processos de planejamento e a facilidade de uso desta plataforma favorece a democratização e o acesso ao conhecimento disponível.

O desenvolvimento e a aplicação da planilha apresentada neste trabalho permitiram comprovar, de forma prática e objetiva, a eficiência e a simplicidade do método proposto para o cálculo e análise de implantação de TC. A ferramenta mostrou-se eficaz ao automatizar etapas tradicionalmente realizadas de maneira manual, mas também sem a necessidade da utilização de ferramentas especializadas ou softwares específicos, tornando o processo de obtenção e tratamento de dados mais ágil, confiável e acessível. Essa automação proporcionou a redução significativa de erros e a padronização dos cálculos, o que resultou em maior precisão e consistência dos resultados obtidos.

A planilha desenvolvida demonstrou não ser apenas um instrumento de cálculo, mas também uma ferramenta de apoio analítico e decisório, capaz de reunir, organizar e interpretar informações de maneira integrada. Por meio da utilização de uma bacia de detenção virtual (BD Virtual), foi possível estabelecer critérios comparativos entre diferentes tipos de TC, analisando aspectos técnicos e econômicos de forma sistemática e transparente. Essa abordagem permitiu comparações quantitativas claras, que auxiliam na avaliação da eficiência e da viabilidade das alternativas analisadas, tornando o processo de estudo mais estruturado e racional.

Outro ponto de destaque foi a capacidade da planilha de realizar simulações em múltiplos cenários, tanto para o uso individual quanto combinado das TC. Essa funcionalidade ampliou as possibilidades de análise e favoreceu uma compreensão mais aprofundada das interações entre diferentes configurações de implantação. Assim, tornou-se possível identificar quais soluções apresentaram melhor desempenho em termos de custo, volume e eficiência operacional, permitindo uma escolha mais criteriosa das alternativas mais adequadas para cada contexto. Além disso, os recursos gráficos incorporados à ferramenta facilitaram a interpretação dos resultados, tornando o processo analítico mais intuitivo e acessível, mesmo para profissionais com menor experiência em cálculos hidrológicos detalhados.

A planilha também apresentou resultados consistentes e coerentes, com baixa variação em relação às estimativas teóricas disponíveis na literatura definida a ser estudadas. Mesmo utilizando de dados de estudos anteriores de Lopes (2021) e Peroni (2023), que possam existir erros ou não, a fins de comparação de base foram suficientes para compreender que os cálculos foram coerentes. Tal confiabilidade decorre da aplicação de equações consolidadas, porém simples, e da estrutura de cálculo automatizada, que reduz a possibilidade de erros humanos e assegura maior estabilidade nos resultados. Outro aspecto importante observado foi a versatilidade da ferramenta, uma vez que, embora o estudo tenha sido inicialmente voltado a áreas já urbanizadas, verificou-se que o método pode ser aplicado a qualquer contexto urbano, seja já consolidado ou em processo de urbanização. Essa flexibilidade amplia o potencial de aplicação da planilha como instrumento de planejamento e suporte técnico em projetos de drenagem urbana e gestão de águas pluviais.

Além dos resultados obtidos, o trabalho evidenciou diversas possibilidades de aprimoramento da ferramenta. Recomenda-se que, em estudos futuros, a planilha seja validada com dados reais de campo, de modo a ajustar seus parâmetros e calibrar suas equações com base em condições práticas. Também se sugere a incorporação de novas variáveis, como custos de manutenção, vida útil dos dispositivos e impactos ambientais associados à implantação das TC, para que as análises possam refletir uma realidade mais ampla e completa. Outro avanço desejável seria a automação do processo de atualização dos custos de implantação, mediante integração direta com bancos de dados externos, o que tornaria o modelo ainda mais dinâmico e confiável.

Além disso, recomenda-se a evolução da planilha para uma plataforma digital mais interativa, com interface aprimorada e funcionalidades expandidas, permitindo sua utilização por um público mais amplo, como profissionais, pesquisadores e gestores públicos. Essa transformação poderá consolidar a ferramenta como uma base sólida para o desenvolvimento de sistemas integrados de análise hidrológica, com potencial para integração a softwares de modelagem e simulação de drenagem urbana.

Em síntese, a planilha desenvolvida neste trabalho representa um avanço significativo na modernização das ferramentas de apoio à engenharia de drenagem. Sua aplicação comprovou a eficácia do método proposto, demonstrando que é possível aliar simplicidade operacional, automação e precisão técnica em um mesmo sistema. A pesquisa evidencia o papel fundamental da digitalização e da análise automatizada como caminhos promissores para o aprimoramento das práticas de planejamento urbano

sustentável, reforçando a importância da inovação tecnológica como instrumento de eficiência, racionalidade e sustentabilidade nos projetos de engenharia.

Após a defesa e aprovação da Tese, a planilha ainda passou por alguns ajustes e recebeu uma aba de apresentação (Fig. 5.1), tendo sido nomeada ‘AVALIA SBN’ e estando disponível no repositório de dados de pesquisa da UFSCar, no link [AVALIA SBN](#) ou <https://doi.org/10.5281/zenodo.18838147>.

**Figura 5.1 Avaliação TC Conjuntas – Volumes Araraquara**



Fonte: Autora, 2026.

## 6 Referências Bibliográficas

- ARARAQUARA. **Mapa da Microbacia do Córrego da Servidão**. PMA, 2013.
- ARARAQUARA. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**. PMA, 2014.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.
- BRASIL. Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024. **Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima; altera a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 28 jun. 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2024/Lei/L14904.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14904.htm). Acesso em: 15 fev. 2025
- BROWN, R. R.; FARRELLY, M. A. **Barriers to sustainable urban stormwater management: the need for a paradigm shift**. *Water Science and Technology*, London, v. 59, n. 5, p. 847–855, 2009.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Brasília, DF: Caixa Econômica Federal; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sinapi>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Catálogo Brasileiro de Soluções baseadas na Natureza – Entendendo e planejando SbN no Brasil**. Brasília: CGEE, 2021. Disponível em: <https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br/> Acesso em: 15 de jan. de 2026.
- CHANG, N.-B.; LU, J.; CHAO, Y.-C. **A review of decision support tools for sustainable urban stormwater management**. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 559, p. 1–18, 2018.
- CITY OF PORTLAND – **Stormwater Management Manual**, 2016.
- CITY OF TORONTO - **Wet Weather Flow Management**, 2006.

COELHO, L. M. G. **Avaliação de Sustentabilidade em Sistemas de Drenagem Urbana via abordagem multicritério.** Sustentare & WIPIS, 2023.

COELHO, L. M. G. HENRIQUES, R. S. **Proposta de modelo de análise multicritério aplicada ao apoio a seleção de técnicas compensatórias.** XI Encontro Nacional de Águas Urbanas, Belo Horizonte, 2017.

CUNHA, R. Disponível em < <http://www.ebanataw.com.br/drenagem/bocadelobo.htm>> Acesso em: 10 de maio de 2022.

DIETZ, M. E. **Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions.** *Water, Air, & Soil Pollution*, Dordrecht, v. 186, p. 351–363, 2007.

EASTON WASHINGTON – **Low Impact Development Guidance Manual.** Department of Ecology – State of Washington, 2013.

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, 2015.

FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, H.; HAMEL, P. **Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art.** *Advances in Water Resources*, 51, 2013. 261-279.

GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit. **Catálogo de soluções baseadas na natureza (SbN) para espaços livres, 2024.** Disponível em: <https://cdn.paniclobster.com/hackathons/chamada-rs/catalogo-solucoes.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2026.

GOBIERNO DE MADRID - **Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales em Zonas Verdes y otros Espacios Libres.** Madrid, 2018.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. **O Uso de Técnicas Compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S. l.], v. 12, n. 1, 2016. DOI:

10.17271/1980082712120161366.

**IBGE. Cidades:** Araraquara/SP. Disponível em: <Araraquara (SP) | Cidades e Estados | IBGE>. Acesso em 20 de março de 2024.

IUCN – International Union for Conservation of Nature. **Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS.** Gland, Switzerland: IUCN, 2020.

KABISCH, N.; KORN, H.; STADLER, J.; BONN, A. **Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: linkages between science, policy and practice.** Cham: Springer, 2016.

LOPES, B. L. V. **Limites e Potencialidades da Utilização de Técnicas Compensatórias no Manejo de Águas Pluviais em Área já Urbanizadas.** Dissertação em mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2021.

LUCAS, H. A. **Monitoramento e Modelagem de um Sistema Filtro-Vala-Trincheira de Infiltração em escala real.** Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2011.

MAES J.; JACOBS, S. **Nature-Based Solutions for Europe’s Sustainable Development.** *Conervation Letters*, volume 10, pp. 121-124, 10.1111/conl.12216

MAI, Y.P.; ZHANG, M.Z.; CHEN, W.J.; CHEN, X.L.; HUANG, G.R.; Li, D. **Experimental study on the effects of LID measures on the control of rainfall runoff.** *Urban Water J.* **2018**, *15*, 827–836.

MARTIN, C. J. M.; de BEURS, K. M.; JULIAN, J. P.; MAYER, P. M. **Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed.** *Landsc. Urban Plan.* **2015**, *140*, 29–41.

MARTINS, J. R. **Obras de Macrodrenagem.** In: TUCCI, C. E.; PORTO, R. la L. e BARROS, T. de Barros. *Drenagem Urbana.* 4ª Edição: Porto Alegre. Editora UFRGS/ABRH.

MAROSTICA, S. D. & SILVEIRA, A. L. L. **Indicadores de Sustentabilidade aplicados à drenagem urbana: Avaliação de Técnicas de desenvolvimento de baixo**

**impacto (LID) baseado na revisão da literatura.** Finisterra, 59 (126), e33416.

**MARYLAND - Low-Impact Development: Na Integrated Environmental Design Approach.** Department of Environmental Resources, Programs and Planning Divison. Price's Contry - Maryland, 1999.

MCPHERSON, T.; OLIVEIRA, E.M.; COZINHEIRO, M.; BERBÉS-BLÁZQUEZ, C.; CHENG, N.B. GRIMM, E.; ANDERSSON, O.; BARBOSA, D.G.; OLIVEIRA, H.; OLIVEIRA, M.V.; CHESTER, S.R.; ELSER, N.; FRANTZESKAKI, Z.; GRABOWSKI, P.; OLIVEIRA, R.L.; PEREIRA, D.M.; IWANIEC, N.; RIBEIRO, C.; KENNEDY, T.G. **A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services.** One Earth, 2022, pp. 505 -518, 10.1016/j.oneear.2022.04.007

NIEMCZYNOWICZ, J. **Urban hydrology and water management presente and future challenges.** Urban Water, 1ª Edição, 1999, volume 1, p 1-14.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Nova York: ONU, 2015.

PERONI, C. Z. **Avaliação de Bacias de Detenção na Gestão de Águas Pluviais em Araraquara, SP.** Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2018.

PERONI, C. Z. **Método Simplificado para Cálculo e Avaliação do uso combinado de Técnicas Compensatórias no Manejo de Águas Pluviais em escala de loteamento.** Tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2023.

PERONI, C.; ORTIZ, I. G.; FERREIRA, V. C. B.; DOMINGUES, J. O. **Proposição da implantação de técnicas compensatórias para minimizar principais pontos de inundações na Via Expressa na área urbana de Araraquara/SP.** 2017

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais** – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

Rezaei, A.R.; Ismail, Z.; Niksokhan, M.H.; Dayarian, M.A.; Ramli, A.H.; Shirazi, S.M. **A quantity–quality model to assess the effects of source control stormwater management on hydrology and water quality at the catchment scale.** *Water* 2019, *11*, 1415.

ROSA, D. W. B. **Resposta Hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana – Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.

SANTOS, M. F. N.; REIS, M. R. M.; GONÇALVES, L. M.; BARBASSA, A. P. **Descentralizando o manejo das águas pluviais: Como promover a participação da comunidade?** – 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Contradições e Complexidades. Maceió, 2016.

SANTOS, M. F. N. **Diferentes abordagens para o manejo das águas pluviais e sua relação com o planejamento urbano.** Tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2018.

SHAFIQUE, M.; KIM, R. **Retrofitting the Low Impact Development practices into developed urban areas including barriers and potential solutions.** *Open Geosci.* 2017, *9*, 240–254

TUCCI, C. E. M. **Água Doce – Capítulo 14, Água no Meio Urbano.** 1ª edição – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul,** 1ª edição - Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Porto Alegre: ABRH, 2005.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). **Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices.** In *EPA 841-F-07-006*; Nonpoint Source Control Branch: Washington, DC, USA, 2007. Available online: [www.epa.gov/nps/lid](http://www.epa.gov/nps/lid). Acesso em: 20 fev 2024.

VASCONCELOS, A. F. **Estratégias para o avanço do manejo sustentável de águas pluviais urbanas no Brasil.** Tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2020.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual.** London: CIRIA, 2015.