

# EFICIÊNCIA DOS MODELOS DE DIMENSIONAMENTO DE DRENAGEM URBANA

*EFFICIENCY OF URBAN DRAINAGE SIZING MODELS*

*EFICIENCIA DE LOS MODELOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL  
DRENAJE URBANO*

André Ricardo Cansian  
Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana: PPGTU - PUCPR  
andre.cansian@gmail.com

Andrêina Cipriani  
Curso de Arquitetura e Urbanismo PUCPR –  
andreinacipriani3@gmail.com

Mayara Bormann Azzulin  
Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana: PPGTU - PUCPR –  
mayara.bormann@pucpr.edu.br

Altair Rosa  
Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana: PPGTU - PUCPR  
altair.rosa@pucpr.br

Demian Barcellos  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR  
demian.barcellos@gmail.com

## RESUMO

O rápido crescimento urbano, somado às mudanças climática podem estar causando problemas significativos nas cidades, exigindo então soluções eficazes e sustentáveis. Dentre os diferentes problemas resultantes da urbanização descontrolada, pontuam-se as enchentes e secas. Para lidar com esses desafios, as soluções baseadas na natureza (SBN), concretizadas como drenagem sustentável, estão ganhando destaque. Porém, existem vários obstáculos no emprego de SBN para drenagem sustentável, uma delas seria sobre o correto e eficaz método de dimensionamento dos sistemas. Neste sentido, este trabalho tem como finalidade investigar os modelos de dimensionamento de sistemas de drenagem urbana sustentável mais eficientes e utilizados. A metodologia empregada foi a busca sistemática na literatura científica. Os principais modelos de dimensionamento encontrados foram equação IDF, SWMM, InfoWorks, Redes Neurais, Algoritmos e o SWMM com uma rede neural. Por fim, dada a abrangência do tema e a necessidade crescente por sistemas eficientes de escoamento de águas pluviais, compreende-se que é essencial dar continuidade aos estudos. Realizar testes práticos e comparativos, além de criar ferramentas que auxiliem na escolha metodológica podem ser uma opção, tendo em vista a construção de cidades mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** Modelos hídricos; Eficiência hidrológica; Sistemas de drenagem sustentáveis; Dimensionamento; Técnicas compensatórias.

## ABSTRACT

*Rapid urban growth and climate change may cause significant problems in cities, requiring effective and sustainable solutions. Among the different problems resulting from uncontrolled urbanization are flooding and droughts. Nature-based solutions (NBS), realized as sustainable drainage, are gaining prominence to address these challenges. However, there are several obstacles to using SBN for sustainable drainage, including the correct and effective system sizing method. In this sense, this work aims to investigate the most efficient and used models for designing sustainable urban drainage systems. The methodology used was a systematic search of scientific literature. The main sizing models found were IDF equation, SWMM, InfoWorks, Neural Networks, Algorithms, and SWMM with a neural network. Finally, given the scope of the topic and the growing need for efficient rainwater drainage systems, it is understood that it is essential to continue studies. Carrying out practical and comparative tests and creating tools that assist in methodological choice can be an option to build more sustainable cities.*

**Keywords:** Hydrological models; Hydrological efficiency; Sustainable drainage systems; Sizing; Compensatory techniques.

## RESUMEN

*El rápido crecimiento urbano y el cambio climático pueden causar problemas importantes en las ciudades, que requieren soluciones efectivas y sostenibles. Entre los diferentes problemas resultantes de la urbanización descontrolada se encuentran las inundaciones y las sequías. Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), implementadas como drenaje sostenible, están ganando importancia para abordar estos desafíos. Sin embargo, existen varios obstáculos para utilizar SBN para un drenaje sostenible, incluido el método correcto y eficaz para dimensionar el sistema. En este sentido, este trabajo pretende investigar los modelos más eficientes utilizados para diseñar sistemas de drenaje urbano sostenible. La metodología utilizada fue una búsqueda sistemática en la literatura científica. Los principales modelos de dimensionamiento encontrados fueron ecuación IDF, SWMM, InfoWorks, Redes Neuronales, Algoritmos y SWMM con red neuronal. Finalmente, dada la amplitud del tema y la creciente necesidad de sistemas eficientes de drenaje de aguas pluviales, se entiende que es fundamental continuar con los estudios. Realizar pruebas prácticas y comparativas y crear herramientas que ayuden en las elecciones metodológicas puede ser una opción para construir ciudades más sostenibles.*

**Palabras clave:** Modelos hidrológicos; Eficiencia hidrológica; Sistemas de drenaje sostenible; Dimensionamiento; técnicas compensatorias.

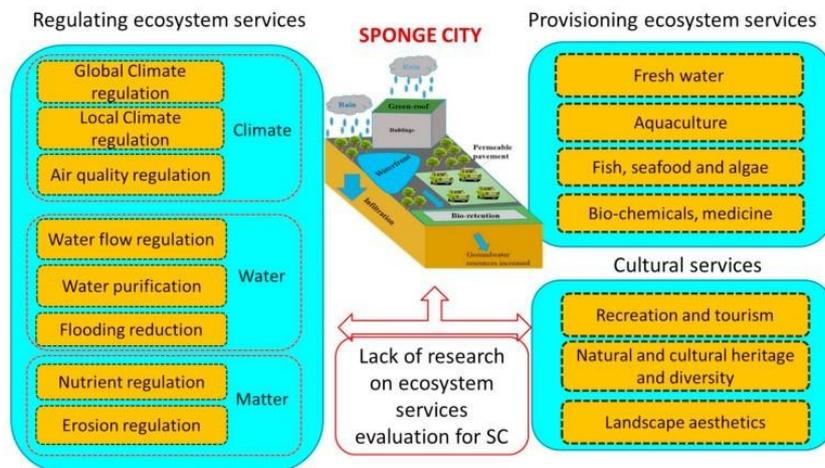
## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A urbanização crescente, o aumento da população e a elevação do padrão de vida criam maior demanda de água, quem impactam diretamente sobre os recursos hídricos. A dificuldade de monitoramento como também as áreas que estão irregulares perante o sistema hídrico municipal, contribuem para a poluição dos recursos hídricos, pauta que se soma a problemática das mudanças ambientais.

Com altos índices de poluição, com os efeitos da variabilidade das mudanças climáticas e de usos do solo globais, as situações de disponibilidade hídrica e ocorrências de eventos hidro-meteorológicos extremos se tornam assuntos ainda mais delicados (Bressiani, 2010; Bressiani et al., 2010; Bressiani et al., 2015; Bressiani, 2016). A cidade de Curitiba, no Paraná, por exemplo, faz parte da lista de municípios selecionados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), no escopo do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres. Isso significa que a cidade possui várias dificuldades relativas às questões hidrológicas, como inundações, alagamentos, erosão do solo, poluição hídrica e suas respectivas influências no setor social, econômico e social (CEMADEN, 2022).

Neste contexto, utiliza-se então o conceito de Cidade Esponja (Figura 1), na qual se aborda a ideia de um novo tipo de sistema integrado, que tem por meta citar e analisar os problemas de água nas cidades (Nguyen, Ngo, Guo e Wang, 2020).

Figura 1: Possíveis benefícios da Cidade Esponja



FONTE: Nguyen, Ngo, Guo e Wang (2020).

A importância que os recursos hídricos possuem para o ambiente urbano são diversos, como a saúde pública, equidade de acesso à água e segurança alimentar. Esses devem ser objetivos prioritários, tendo em vista que ainda existem milhões de pessoas que não possuem acesso à água em quantidade e qualidade adequada para a saúde e uso doméstico (Molden & Sakthivadivel, 1999; Sullivan, 2002, Bressiani, 2010, Bressiani et al., 2010). Sendo assim, tem-se tornado cada vez mais relevante a abordagem por intervenções sustentáveis e eficientes, que consigam melhorar o escoamento de águas pluviais em bacias hidrográficas. Medidas como informações geográficas voluntárias, mapeamentos, monitoramento e modelagem hidrológica, serviços baseados na natureza, manejo e drenagem urbana e gestão integrada de águas urbanas, entre outros, podem e devem ser utilizadas (Toth et al., 2003; Neal et al., 2007; Kron, 2009, Dkkv e Unisdr, 2010; UNWater, 2010; Bressiani et al., 2015a e Bressiani, 2016).

Tendo em vista a abrangência desses equipamentos e soluções, considera-se a importância de utilizar modelos e métodos integrados de planejamento, implementação e avaliação. A fim de que as soluções encontradas possam ser as mais eficientes possíveis. Sendo assim, é essencial estudar os modelos de dimensionamentos existentes, em busca do método que traga maior precisão e assertividade aos dispositivos de drenagem urbana sustentável propostos.

Devido a complexidade do tema “modelos de dimensionamento de sistemas de drenagem sustentáveis o objetivo da pesquisa é de reconhecer modelos de dimensionamento de sistemas de drenagem urbana sustentável mais utilizados pela comunidade científica e acadêmica. Para isso será apresentada uma revisão bibliográfica, através da metodologia de revisão sistemática da literatura com o uso de operadores booleanos, sobre os modelos de dimensionamento de sistemas de drenagem urbana (SUDS), no qual serão discutidos os referenciais para encontrar as estruturas mais utilizados e validadas. E assim, ter-se subsídio

suficiente para implementação de equipamentos e políticas públicas que visem uma gestão mais eficiente das águas pluviais na cidade de Curitiba.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este estudo se apropriou de artigos que abordassem os modelos ou metodologias de dimensionamento e validassem sua eficiência no dimensionamento de equipamentos e sistemas de drenagem sustentável, com o intuito de melhorar o controle de águas pluviais das cidades. Como apresentado por Stecker (1998) as dimensões dos elementos de drenagem são definidas usando modelos de simulação para imitar os processos de precipitação e escoamento. Os resultados estatísticos são a ferramenta de avaliação dos sistemas de gestão de águas pluviais. Além disso, permite ilustrar e comparar as diferentes variações do sistema (Stecker, 1998).

As possibilidades são diversas, por isso a importância de estudos de caso que validem e comprovem o funcionamento do método. Não há unanimidade dos autores perante a escolha metodológica, enquanto alguns buscam meios mais convencionais de cálculo, como pelo uso da equação de intensidade, duração e frequência (IDF) (Sosnoski, Barros e Conde, 2020), pelo Storm Water Management Model (SWMM) (Altobelli, Cipolla e Maglionico, 2020) ou até pela combinação desses com redes neurais (Li et al., 2023) ou programações (Nguyen et al., 2020).

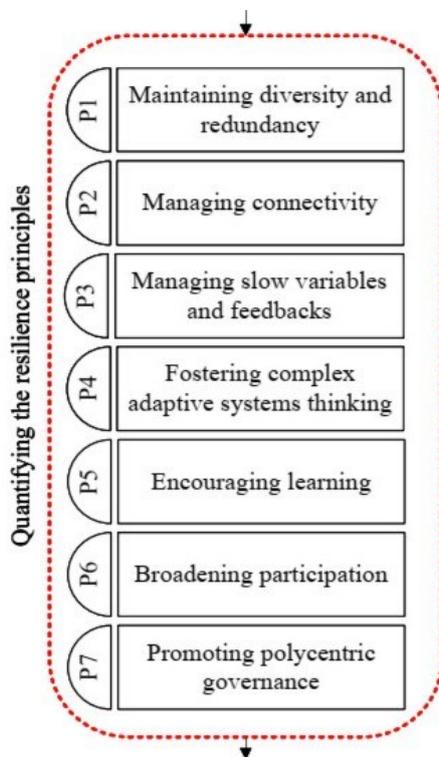
Um dos métodos que obtém destaque é o SWMM, explorado por muitos autores, mas em contextos diferentes e muitas vezes englobado a outros modelos. No estudo citado anteriormente, o SWMM foi aplicado em combinação com o *Environmental Protection Agency* (EPA), em um sistema de esgoto na Bolonha, na Itália, e esse uso diferenciado gerou melhorias no funcionamento dele, como a redução de poluentes e otimização do funcionamento (Altobelli, Cipolla e Maglionico, 2020). Em outro caso, ele está acoplado à uma Unidade de Processamento Gráfico (GPU), mais especificamente o *RiverFlow2D-GPU* – uma ferramenta de paralelização de cálculo. Nessa situação a melhora ocorre não diretamente no dimensionamento, mas sim no processamento dos cálculos, podendo-se realizar simulações até 100 vezes mais rápidas (Fernandez-Pato e Garcia-Navarro, 2021).

O Freni, Schilling, Milina e König (2002) apresentam o conceito de práticas de gestão de águas pluviais distribuídas (DSMPs), as quais em regulamentações técnicas podem ser uma solução para os problemas de inundação urbana. Aqui, o SWMM e alguns outros modelos como o *MOUSE* e *HydroWorks* são explorados em conjunto a fim de detalhar os processos hidrológicos – infiltração, retenção na superfície e evaporação, além de avaliar a eficácia dos DSMPs. Utilizado em uma bacia da Noruega, esse modelo permitiu acelerar o processo de simulação das possibilidades, fazendo uma pré-seleção automática (Freni et al., 2002).

Ainda é possível utilizar esse mesmo modelo na sua base, melhorando e aprimorando apenas os dados incluídos nele ou até mesmo trabalhando sua funcionalidade. Numa proposta desenvolvida no Teerã, no Irã, procurou avaliar a resiliência dos sistemas, seguindo sete critérios (Figura 2), são eles:

diversidade e multiplicidade em um sistema de drenagem urbana (UDSs), gerenciamento de variáveis lentas, conectividade estrutural e funcional, manutenção da adaptabilidade, aprendizagem, participação e promoção de sistemas de governança (Haghbin e Mahjouri, 2023). Outros exploraram esse mesmo método com códigos de programação. Num exemplo implementado em Bruxelas, na Bélgica, o SWMM conecta-se ao modelo de bacia hidrográfica *WetSpa-Python*, o que trouxe melhoras no cálculo de escoamento superficial e simulação do fluxo de nível. Mais uma vez, o impacto é notado através da velocidade da simulação dos processos hidrológicos, além do desempenho do cálculo ter aumentado em quase 130% (Helmi et al., 2019).

Figura 2: Sete critérios do modelo



FONTE: Haghbin e Mahjouri (2023).

Dentre as publicações existentes, outros seis estudos que utilizam o mesmo modelo e todos eles são distintos entre si, por outros processos e procedimentos acrescidos. Por exemplo, Zanandrea e Silveira (2019) fez estudos de implantação de estruturas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) para a cidade de Viamão, no Rio Grande do Sul, a partir do SWMM (Zanandrea e Silveira, 2019). Os autores Lin, Lu e Zhu (2014) assumem esse método com algoritmos genéticos para criar um modelo de otimização de parâmetros, para facilitar operações (Lin, Lu e Zhu, 2014). Os algoritmos genéticos foram explorados por mais um grupo de pesquisadores, apresentando um estudo bem atual. Li, Zhang, Chen, Shen e Niu (2023) propõem um método de modelagem baseado em redes neurais artificiais (ANN), o qual é acoplado aos algoritmos anteriormente mencionados. Esse seria um modelo de substituição para o SWMM, capaz de fazer uma autocorrelação espacial a partir das inundações presenciadas dentro dos UDS e replicar a precisão de saída (Li et al., 2023).

Há quem use versões mais recentes do SWMM e que opte por não acrescentar nada a sua base de dados. A preferência se dá por um melhor ajuste e calibração dos dados, definindo, por exemplo, parâmetros físicos. Foi o caso de um estudo feito por Hamouz e Muthanna (2019), onde o programa foi usado para modelar o desempenho hidrológico de um telhado verde não vegetado, ou seja, com controles de desenvolvimento de baixo impacto (LID). Eles comprovaram que esse conjunto de informações, quando precisas, indicam um ajuste mais adequado de escoamento, além de parâmetros transferíveis para outros casos (Hamouz e Muthanna, 2019).

Os dois últimos estudos que criam relação com o modelo base estudado até então – SWMM – apresentam propostas mais complexas de metodologias. No artigo de Wang, Li e Sweetapple (2023) são acrescentadas diversas métricas e metadados com base no acoplamento do modelo MATLAB com o SWMM. Esse sistema foi criado para permitir uma resiliência das características e permitir melhores esquemas de colocação de SUDS (Wang, Li e Sweetapple, 2023). Por fim, é proposto um novo código de domínio público para o SWMM, usando algoritmos de volume finito. Ele consegue simular em alta resolução extensos problemas de drenagem, abrindo novas possibilidades para o uso do programa (Hodges, Liu e Rowney, 2019).

Enquanto o modelo anteriormente explorado apresenta maior compatibilidade para projetos de dispositivos de drenagem sustentáveis e de baixo impacto, outra metodologia recorrente está desenvolvida para simular escoamento na saída de bacias hidrográficas. Esse é conhecido por *Soil Water Assessment Tool* (SWAT+), onde Yimer, Riakhi, Bailey, Nossent e van Griensven (2023) integraram um módulo de água subterrânea (gwflow), tornando-se o SWAT+gwflow. Esse método investiga os fluxos hidrológicos de toda a bacia, com uma calibração maior para a simulação, acarretando diversos benefícios para a representação da superfície e estratégias (Yimer et al, 2023).

O método *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT Release 2005) foi citado em outro trabalho, no qual a sua validação não era o tema principal, mas sim a sua incrementação. No caso, é abordado como a variação da profundidade da tabela de água rasa (TAR) é importante para o planejamento de sistemas de drenagem de grande escala. Isso torna a sua precisão um fator prioritário. Assim, apresenta-se um algoritmo baseada no modelo DRAINMOD para melhorar a previsão do TAR. Consequentemente, ocorreram aumentos na precisão da simulação dos processos hidrológicos e os componentes do manejo da água (Moriasi et al., 2009).

Boles, Frankenberger e Moriasi (2015) também tratam da simulação de drenagem por meio do SWAT2012, mas baseados nas equações de Hooghoudt e Kirkham. Por meio da implementação de uma bacia hidrográfica em Indiana ele avalia se a metodologia empregada fornece valores adequados de parâmetros. Assim, a partir de um coeficiente de drenagem ele demonstrou capacidade de melhorar previsões (Boles, Frankenberger e Moriasi, 2015).

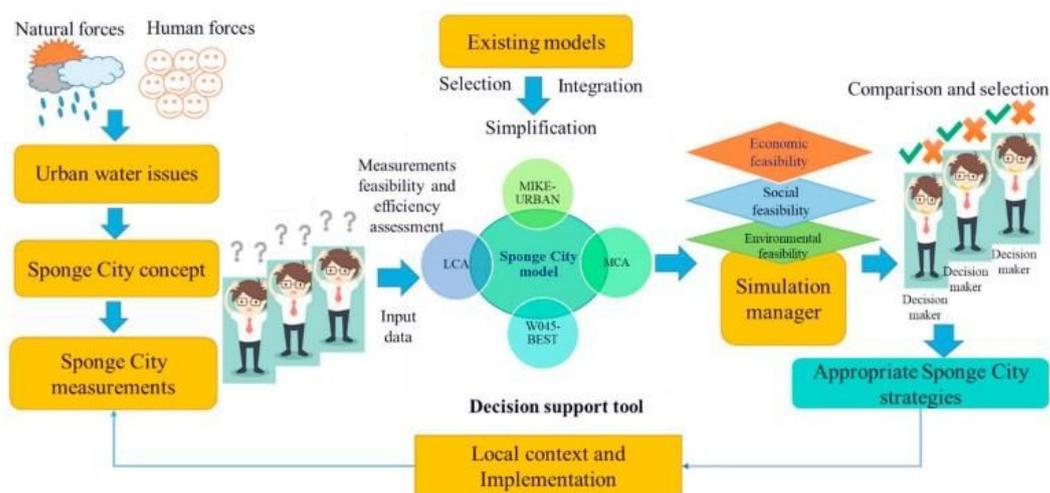
Até o momento, verificou-se que muitas bibliografias tratam das mesmas metodologias, mas com pequenas modificações, não demonstrando a completude de sua abrangência. Entretanto, as seguintes transcrições mostram que os sistemas podem ser dimensionados de diferentes formas, podendo

chegar a um mesmo objetivo por caminhos distintos. Assim demonstra o artigo de Bravo, Paz, Collischonn, Uvo, Pedrollo e Chou (2009) relata o desempenho de dois modelos de previsão de vazão, são eles: uma rede neural artificial e um modelo hidrológico distribuído. O primeiro precisou de dados com maior qualidade e mais precisos, mas ainda assim consolidou-se como menos sensível ao erro do que o segundo método. Esse fez-se uma melhor ferramenta de previsão do que os modelos em redes neurais, quando o processo de chuva-vazão se torna mais importantes (Bravo et al., 2009).

Alonso-Martinez, Navarro-Manso, Castro-Fresno, Alvarez-Rabanal e Diaz (2014) criaram, mais uma vez, um teste comparativo entre duas metodologias – método de volumes finitos (FVM) e experimentos por velocimetria de imagem de partículas (PIV). E assim, encontrou-se uma forte relação entre a análise numérica e experimental (Alonso-Martinez et al., 2014). O mesmo ocorre quando Naresh e Naik (2023) produzem um comparativo entre o Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS) e a Rede Neural Artificial (RNA). Por meio do cálculo de chuva-vazão seria possível compreender os fluxos e com isso, realizar o gerenciamento das inundações. Como configuração de estatísticas comparativas, nesse estudo adotou-se um índice denominado Eficiência de Nash-Sutcliff (NSE) e Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>), sendo o HEC-HMS o que expôs melhor desempenho (Naresh e Naik, 2023).

Entretanto, métodos e modelos distintos nem sempre são expostos em face comparativa, mas sim de união. Em um protótipo são associados quatro submodelos – MIKE-URBAN, LCA, W045-BEST e MCA (Figura 3). A intenção é criar uma rede que possa medir aspectos não só sobre a capacidade do sistema de drenagem urbano, mas também aspectos ambientais, sociais e econômicos das simulações apresentadas, ou seja, vai muito além das bases de dados comuns, pois abrange uma análise de múltiplas características (Nguyen et al., 2020)

Figura 3: Proposta geral do modelo de desenvolvimento da Cidade Esponja



FONTE: Nguyen, Ngo, Guo e Wang (2020).

A própria Modelagem da Informação da Construção (BIM) surgiu em meio as abordagens de metodologia a se utilizar. O método BIM pode ser aplicado de forma eficiente para apoiar o projeto de sistemas de drenagem capazes de

proteger projetos de grande porte, como ferrovias e rodoviárias, de riscos hidráulicos. Com o auxílio de modelos numéricos, implementados em todas as fases do projeto, pode fazer uma análise do risco de inundações e dos componentes do sistema. A maior vantagem desse recurso é a garantia da total integridade dos conjuntos de componentes, da produtividade geral e da aplicabilidade do projeto. O BIM apresenta-se como uma nova perspectiva de trabalho (Ferrante et al., 2020).

O conceito modificado de análise de drenagem de bacias hidrográficas (MODFLOW) foi a metodologia desenvolvida pelo Wolf, Barthel e Braun (2008) para análise de fluxos de água subterrâneas. Ele se preocupa com critérios como a largura, espessura de células, gradientes e conectividades dos aquíferos, no intuito de se adaptar condições morfológicas reais. Os levantamentos são certificados por estudos de casos na Alemanha e na Áustria, esclarecendo que fatores físicos também são relevantes para as análises de sistemas (Wolf, Barthel e Braun, 2008).

As tempestades de chuva extrema são um dos principais fatores que causam inundações urbanas quando o sistema de drenagem urbana não consegue descarregar com sucesso as águas pluviais. Foi essa a motivação do estudo de He e Hu (2017) para testar um método em fila de dois estágios M/M/1 – M/D/1. Porém para lidar com a imprevisibilidade foi preciso criar um algoritmo genético aprimorado, permitindo-se lidar com a quantidade de estações de bombeamento, diâmetro das tubulações, intensidade de precipitação e níveis de confiança (He e Hu, 2017).

Muitos dos testes efetuados apropriaram-se de redes, algoritmos e programações inovadoras que buscam aprimorar os modelos básicos e que, em vista do agravamento da situação dos recursos hídricos, não conseguem suprir as necessidades por si só. Por exemplo, no texto de Luo e Zeng (2017) eles desenvolveram um sistema de previsão de rede de tubulação e simulação em tempo real baseado em uma rede neural. Isso permitiu uma maior precisão dos resultados, tendo em vista que essa abordagem não precisa de intervenções manuais de cálculo. Além de gerar um sistema mais eficiente (Luo e Zeng, 2017).

Enquanto algumas pesquisas procuram soluções complexas, que influenciam toda a estrutura dos componentes, alguns pesquisadores buscam a resolução na simplicidade. É o caso do estudo de Yang, Zhang, Liu, Huang e Xia (2023), no qual eles exploraram um novo algoritmo de busca para criar uma regra de operação de longo prazo para o funcionamento de bombeamentos. Essa ideia surge por conta das estratégias que regiões metropolitanas se apropriam – seus principais meios de mitigação de problemas hídricos são as grandes tubulações de esgoto e as estações de bombeamento. É uma estratégia descomplicada, mas muito eficaz. Compara ao método tradicional, ela reduziu cerca de 40% os níveis de pico, demonstrando que a praticidade também pode ser um caminho (Yang et al., 2023).

Mahmoodian, Carbajal, Bellos, Leopold, Schutz e Clemens (2018) também sondaram pela simplificação da modelagem dos sistemas. O intuito foi gerar o procedimento que não tivesse um custo elevado, porém, ainda assim, apresentasse simulações desafiadoras. A modelagem especulada foi uma de substitutos híbridos feita em InfoWorks ICM, criando um simulador detalhado de

mapeamento de séries temporais de chuva. Em uma rede em Luxemburgo o estudo foi comprovado, mostrando uma redução de tempo de 1300 vezes comparado a um sistema tradicional (Mahmoodian et al., 2018). Seguindo o mesmo pensamento, outra equipe já havia simulado o uso do InfoWorks CS V15.0. Essa comprovou na prática que sua base de dados convencionais já era bem estruturada para propor soluções adequadas. A prova se dá ao conseguirem mitigar a inundação de uma bacia a partir de SUDS, tornando toda a região de Buckie Moray mais sustentável (Saleh et al., 2016).

A concepção de um modelo analítico-probabilístico, baseadas em equações básicas que inserem parâmetros como o Intervalo Médio de Retorno (ARI), permitem elaborar a chance de escoamento e armazenamento dos sistemas de drenagem. Ele aplica essa metodologia, principalmente, em elementos como os SUDS, em nível de esgotamento ou suprimento de água. Aplicado a dois estudos de caso, ele comprovou ser uma ferramenta interessante no desenho do projeto (Raimondi et al., 2023). Nessa mesma linha pensamento, uma publicação do Water Resources Research (2006) demonstrava um modelo analítico integrado como instrumento para a análise do controle de águas pluviais urbanas. Era um modelo que consiste por vários conjuntos de componentes funcionais, como a transformação chuva-escoamento, acúmulo e lavagem de poluentes, remoção desses poluentes, entre diversos outros critérios. Por fim, o desenvolvimento de cada componente era dado por uma probabilidade derivada (Chen e Adams, 2006).

Diferenciando-se das demais metodologias apresentadas, tem-se o emprego de um programa de simulação de fluxo superficial, FullSWOF\_2D. Na tentativa de avaliar um sistema de biorretenção em uma rodovia, acrescentou-se ao software dois submódulos – a infiltração por zonas e a drenagem por grelha. Foi um caso tão bem-sucedido que foram projetados mais de 20 sistemas com o mesmo modelo. Ainda mais interessante é entender que cada exemplar tinha condicionantes e necessidades distintas, certificando a resiliência do método escolhido (Li et al., 2018).

Os últimos quatro estudos tratam de mecanismos numéricos básicos e não se moldam às metodologias comuns. Na pesquisa de Carbone, Garofalo, Nigro e Piro (2014) é elaborado um modelo conceitual para prever o comportamento de um modelo físico existente, na forma de um telhado verde. Desse modo, eles estudam cada componente do sistema de maneira individualizada, a partir de equações de balanço de massa e séries de intensidades de chuva (Carbone et al., 2014).

A expansão de modelos não estruturais que visam a melhoria de elementos estruturais são presenciados em dois estudos. O primeiro de Hwang, Kwon, Lee e Kim (2020) recomenda a maximização do funcionamento de sistemas de bombeamento a partir de uma operação avançada. O nível de água dos pontos vulneráveis e do reservatório e o risco de inundação são indicadores levados em conta para garantir a eficácia dessa operação (Hwang et al., 2020). O segundo apropria-se de um modelo de águas subterrâneas para avaliar os drenos receptores e o revestimento dos canais. A pesquisa designou como principal questão o melhor entendimento de alguns parâmetros envolvidos no cálculo,

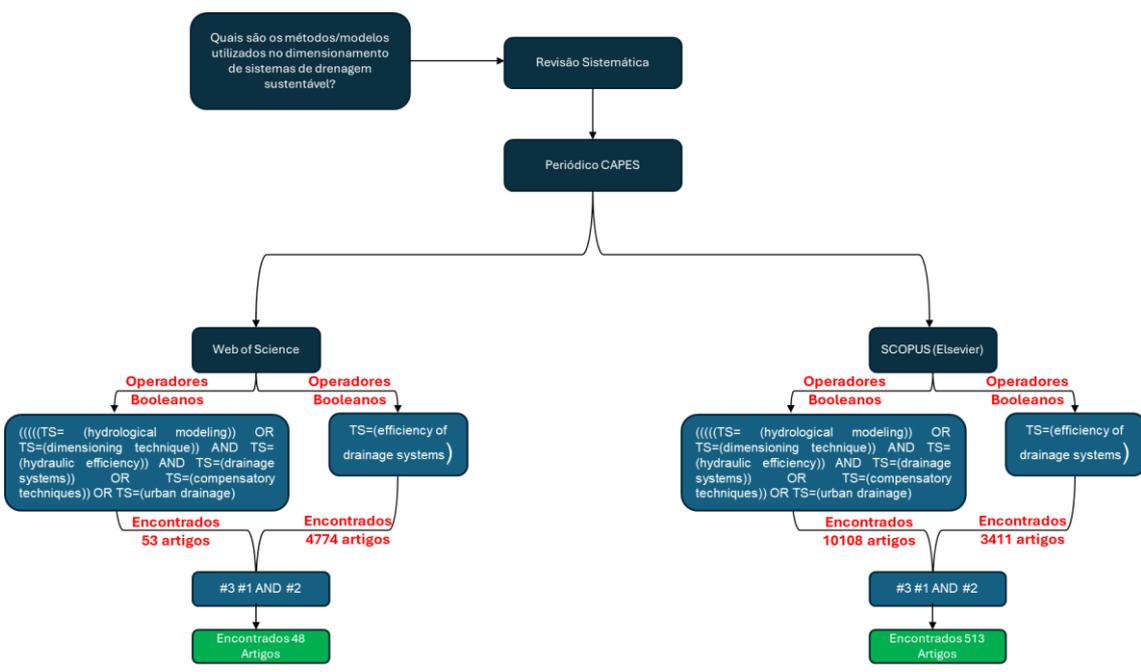
como a resistência à infiltração no leito, além de avaliar conceitos hidrológicos relevantes (Jansen et al., 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pergunta de pesquisa dessa investigação é: quais são os métodos ou modelos utilizados no dimensionamento de sistemas de drenagem sustentável.

Através da metodologia de pesquisa, revisão sistemática da literatura, que envolve a coleta, seleção e análise crítica de estudos científicos relevantes sobre o tema, será gerada uma busca abrangente e rigorosa da literatura existente, utilizando diferentes bases de dados e fontes de informação. A seleção dos estudos a serem incluídos deve ser realizada com base em critérios pré-definidos, que levam em consideração a relevância e a qualidade metodológica dos estudos. Esses critérios podem incluir a exclusão de estudos com viés metodológico ou que não atendam a padrões científicos aceitáveis. (Khan, K. S., et al, 2008, Almeida, C. et al. 2020). A metodologia do procedimento metodológico adotado para a pesquisa pode ser observada na Figura 04.

Figura 04: Metodologia do procedimento metodológico



Fonte: Autores, 2024

Esse levantamento referencial foi viabilizado pelo uso da plataforma do portal de periódicos CAPES, por meio do acesso acadêmico na Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). Em seguida na lista de bases e coleções do acervo eligiu-se duas bases de dados, foram elas: *Web of Science* e *SCOPUS* (Elsevier). Realizou-se uma pesquisa avançada em cada uma delas, utilizando termos e operadores idênticos. A seguir apresenta-se abaixo (Tabela 1) os meios de pesquisa e seus respectivos resultados:

Tabela 1: Busca Sistemática nas bases da WoS e Scopus.

Base de Dados	Operadores Booleanos	Artigos Encontrados
Web of Science	1 - (((((TS= (hydrological modeling)) OR TS=(dimensioning technique)) AND TS= (hydraulic efficiency)) AND TS=(drainage systems)) OR TS=(compensatory techniques)) OR TS=(urban drainage)	10,108
	2 - TS=(efficiency of drainage systems)	3,411
	3 - #1 AND #2	513
SCOPUS (Elsevier)	1 - (((((TS= (hydrological modeling)) OR TS=(dimensioning technique)) AND TS= (hydraulic efficiency)) AND TS=(drainage systems)) OR TS=(compensatory techniques)) OR TS=(urban drainage)	53
	2 - TS=(efficiency of drainage systems)	4,774
	3 - #1 AND #2	48

FONTE: Autores (2023).

Como visto na tabela acima, no Web of Science obteve-se no terceiro filtro 513 artigos e no SCOPUS apenas 48, isso gerou um total de 561 artigos selecionados sobre o assunto com base nos operadores utilizados. Para dar prosseguimento, foram exportados os artigos de cada base de dados para o EndNote – um software gerenciador de referências, permitindo organizar referências bibliográficas para citação – e em seguida para o Rayyan, um aplicativo onde é possível analisar quais os artigos que seriam incluídos no estudo.

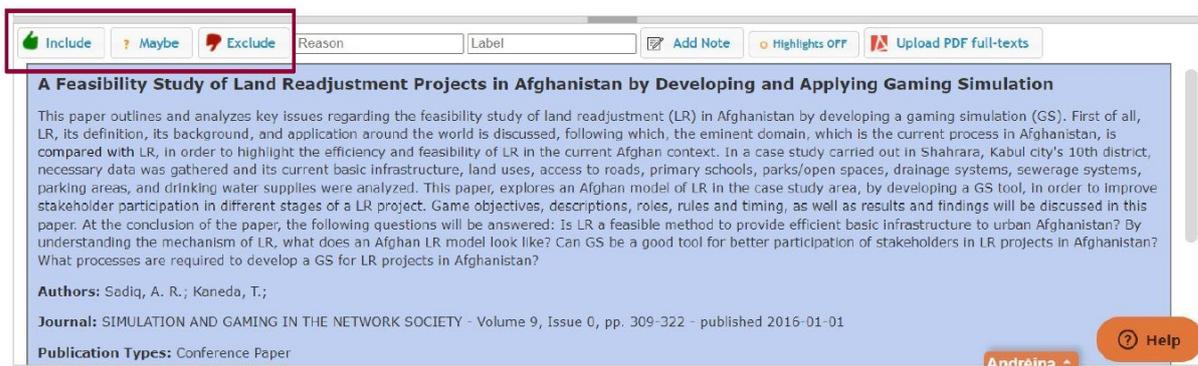
Para uma análise mais assertiva foram detectados os artigos duplicados, encontrando-se um total de 51 (Figura 5). Restando, portanto, um total de 510 artigos para serem analisados e resolvidos. Essa etapa consistiu pela verificação de um artigo de cada vez (Figura 5), realizando a seleção por meio do título e dos tópicos, isso gerou mais 49 artigos excluídos e já 50 documentos selecionados. Por fim, a triagem final ocorreu a partir da leitura dos resumos, restando 33 estudos a serem aprofundados na pesquisa.

Figura 5: Detecção de artigos duplicados



FONTE: Autores (2023).

Figura 5: Classificações de artigos no programa Rayyan



FONTE: Autores (2023).

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da revisão de literatura evidenciam uma ampla gama de modelos e técnicas utilizadas no dimensionamento de sistemas de drenagem sustentável. Para melhor exemplificar, sintetiza-se (Tabela 2):

Tabela 2: Modelos de dimensionamento encontrados

Índice	Autores	Ano	Modelo
01	Sosnoski, Barros e Conde	2020	IDF
02	Altobelli, Cipolla e Maglionico	2020	SWMM + EPA
03	Li, Zhang, Chen, Shen e Niu	2023	SWMM + ANN
04	Fernandez-Pato e Garcia-Navarro	2011	SWMM + RiverFlow2D-GPU
05	Freni, Schilling, Milina e König	2002	SWMM + MOUSE + HydroWorks
06	Haghbin e Mahjouri	2023	SWMM
07	Helmi, Verbeiren, Wirion, Griensven, Weerasinghe e Bauwens	2019	SWMM + WetSpa-Python
08	Zanandrea e Silveira	2019	SWMM
09	Lin, Lu e Zhu	2014	SWMM + Algoritmos Genéticos
10	Hamouz e Muthanna	2019	SWMM
11	Wang, Li e Sweetapple	2023	SWMM + MATLAB
12	Hodges, Liu e Rowney	2019	SWMM + Algoritmo
13	Yimer, Riakhi, Bailey, Nossent e van Griensven	2023	SWAT+gflow
14	Moriasi, Arnold, Vazquez-Amábile, Engel e Rossi	2009	SWAT + DRAINMOD
15	Boles, Frankenberger e Moriasi	2015	SWAT + Hooghoudt e Kirkham

16	Bravo, Paz, Collischonn, Uvo, Pedrollo e Chou	2009	ANN / Modelo Hidrológico Distribuído
17	Alonso-Martinez, Navarro-Manso, Castro-Fresno, Alvarez-Rabanal e Diaz	2014	FVM / PIV
18	Naresh e Naik	2023	HEC-HMS / RNA
19	Nguyen, Ngo, Guo e Wang	2020	MIKE-URBAN, LCA, W045-BEST e MCA
20	Ferrante, Ciampoli, De Falco, D'Ascanio, Presta e Schiattarella	2020	BIM
21	Wolf, Barthel e Braun	2008	MODFLOW
22	He e Hu	2017	M/M/1 – M/D/1
23	Luo e Zeng	2017	RNA
24	Yang, Zhang, Liu, Huang e Xia	2023	Algoritmos
25	Mahmoodian, Carbajal, Bellos, Leopold, Schutz e Clemens	2018	InfoWorks ICM
26	Saleh, Eziefula, Abubakar, Cynthia e Suleiman	2016	InfoWorks CS V15.0
27	Raimondi, Chiano, Marchioni, Sanfilippo e Becciu	2023	Modelo Analítico Probabilístico + ARI
28	Chen e Adams	2006	Modelo Analítico Integrado
29	Li, Fang, Gong, Wang, Chen e Li	2018	FullSWOF_2D
30	Carbone, Garofalo, Nigro e Piro	2014	Modelo Conceitual e Físico
31	Hwang, Kwon, Lee e Kim	2020	Modelo não estrutural
32	Jansen, Bhutta, Javed e Wolters	2006	Modelo de Águas Subterrâneas

FONTE: Autores (2023).

Como principal produto dessa pesquisa tem-se cálculos e equações. Por conta da tamanha abrangência de conteúdos e modelos, torna-se uma problemática eligir uma única metodologia, sem que haja um teste prático. Sendo assim, abaixo serão demonstrados os cálculos dos principais modelos apresentados nos tópicos anteriores, são eles: a equação IDF, uma das mais conhecidas e simples de serem utilizadas e SWMM, a qual retorna grandes resultados e é fortemente utilizada pelos pesquisadores.

### Equação IDF

A equação IDF, também conhecida como equação de chuvas intensas é a principal forma de caracterizar a chuva, já que está diretamente relacionado a intensidade, duração e frequência dela. A seguir serão apresentadas as fórmulas para a utilização delas em pesquisas futuras (Guimarães, Fonseca, Lima e Pinto, 2019).

$$i = \frac{k \times T^m}{(t + b)^n}$$

Onde:

i = intensidade das precipitações, em mm/h ou mm/min;

T= tempo de retorno, em anos;

t = duração das precipitações, em minutos;

K, m, b e n = parâmetros a serem determinados para a localidade em questão.

Para determinar o restante dos parâmetros que dependem da localidade do estudo, são necessários os seguintes cálculos:

$$i = A + n \ln(t + b)$$

Onde:

$$A = kT^m$$

A determinação dos parâmetros “b, n, k e m” vem a partir das fórmulas relatadas acima. Por exemplo, o “b” é retirado da equação de  $(t + b)$  versus a intensidade (i) em escala logarítmica. O “n” descobre-se depois de realizar o cálculo para o “b” e aplicando o método dos mínimos quadrados. Já os último dois são encontrados com os valores de “ln T” e “log A” (Guimarães et al., 2019).

## SWMM E REDES NEURAIAS

O método apresentado a seguir, foi o criado por Li, Zhang, Chen, Shen e Niu (2023), no qual eles se apropriaram da base SWMM e complementaram-na com códigos de redes neurais desenvolvidos pelo grupo. O primeiro passo de cálculo é a realização da análise de autocorrelação espacial, onde define-se a matriz de pesos especiais. Esse envolve dois processos: a definição de vizinhança e o cálculo dos pesos especiais, sendo que o primeiro indica a posição de ligação e o segundo a intensidade de ligação (Li, Zhang, Chen, Shen e Niu, 2023). Assim, tem-se a matriz de pesos especiais ( $W_{ij}$ ):

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ são vizinhos} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Em seguida apropria-se do SWMM um modelo para simulações hidrológicas, onde nesse caso, usou-se as equações de Saint-Venant, para averiguar o transbordamento do sistema (Li, Zhang, Chen, Shen e Niu, 2023). São elas:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x}$$

Onde:

Q = é o escoamento em m<sup>3</sup>/s

W = é a largura da sub-bacia em metros (m)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

d = é a profundidade em metros (m)

d<sub>p</sub> = é a profundidade perdida no reservatório do solo em metros (m)

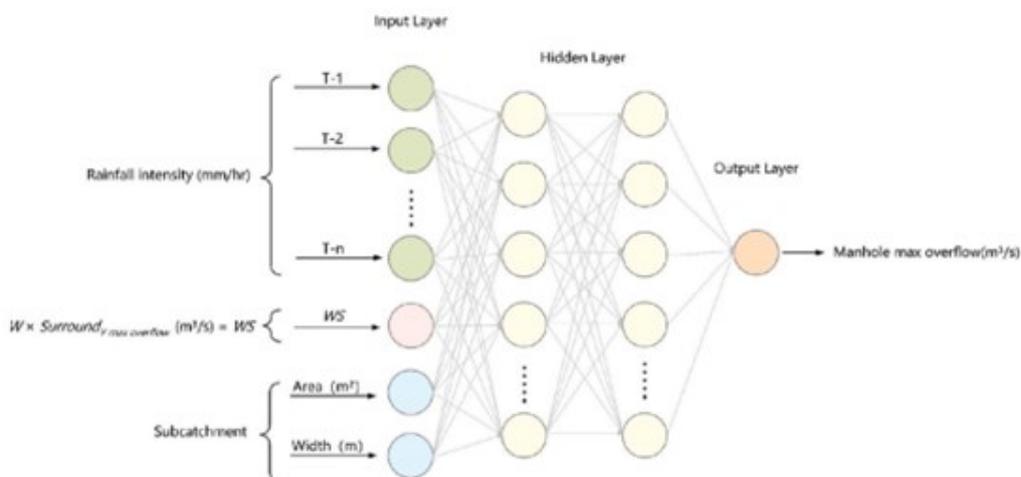
S = é a inclinação da sub-bacia

A = é a área da seção transversal do fluxo de superfície da sub-bacia em m<sup>2</sup>

V = é a velocidade do fluxo da superfície em m/s

Logo após a obtenção dos resultados, esses parâmetros são utilizados pelo modelo desenvolvido por eles o ANN, onde é necessário apenas a colocação dos dados fornecidos pelo SWMM no cálculo anteriormente exposto. A seguir traz-se a topologia do modelo ANN para previsão do máximo transbordamento (Figura 6) (Li, Zhang, Chen, Shen e Niu, 2023).

Figura 6: A topologia do modelo de ANN para previsão do máximo transbordamento



FONTE: Li, Zhang, Chen, Shen e Niu (2023)

Por fim é fornecida uma equação para testar a força da autocorrelação espacial entre os bueiros. Para isso apropriou-se do índice global de Moran (Li, Zhang, Chen, Shen e Niu, 2023), demonstrada a seguir:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}}$$

## 6 DISCUSSÃO

Como comprovado ao longo do texto, os sistemas de drenagem sustentável têm se mostrado uma alternativa importante para lidar com os problemas de escoamento de águas pluviais nas cidades. Mas o que também representam uma parcela tão importante quanto, se não mais, são os métodos e modelos de dimensionamento desses sistemas. Esses podem tornar o projeto de um sistema muito mais eficiente, mais robusto ou até incrementar aspectos novos. Essas técnicas, apresentam benefícios significativos, como a redução de risco de inundações, melhoria da qualidade da água, a promoção da biodiversidade e manutenção de ecossistemas naturais.

Como foco principal da pesquisa, os modelos se mostraram diversos e amplamente flexíveis. Só com o método SWMM foram contemplados 14 estudos, nos quais em apenas três deles essa metodologia foi aplicada em sua composição básica, ou seja, sem nenhuma modificação ou complemento. Em todos as outras 11 pesquisas a base de dados do programa SWMM recebeu complemento dos mais diversos, demonstrando sua ampla adaptabilidade e como essas diferentes combinações podem gerar diferentes resultados – alguns procuravam detalhar processos ao longo dos sistemas, outros tinham como objetivo principal a diminuição de poluentes e ainda tinham aqueles que em sua

versão mais complexa podiam atribuir simulações em alta resolução para grandes áreas.

Também foi possível observar que os estudos mais recentes buscaram aprimoramento em meios sofisticados, inteirando o processo com redes neurais e algoritmos. Ao todo foram 10 artigos que se apoderaram desses métodos e apenas dois deles foram publicados antes do ano de 2019. Assim, valida-se a essencialidade dessa pesquisa, dada a atualidade do assunto.

Para além disso, vale ressaltar que a variedade de modelos e sua não homogeneização e padronização apresenta vantagens e desvantagens. Por um lado, tem-se uma ampla gama de metodologias das quais pesquisadores, estudantes e projetistas podem se apropriar, abrindo diversas possibilidades de aproveitamento e melhoramento dos sistemas. Pode-se modificar desde um mísero elemento até a estrutura por completo, aprimorando áreas distintas. Entretanto, tantas possibilidades fazem com que haja maior dificuldade em adotar um único método, deixando muitas lacunas em aberto. Por exemplo, um dos objetivos específicos dessa pesquisa era encontrar a metodologia mais adequada para se adotar em projetos futuros, porém fica evidenciado que para determinação de uma metodologia é preciso maior aprofundamento. Sendo então, necessário um teste prático – no qual um único sistema será dimensionado com os mais diversos modelos.

## 7 CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou um vasto entendimento dos modelos utilizados no dimensionamento dos sistemas de drenagem sustentável e o quanto esses são imprescindíveis no planejamento e projeto desses elementos para o bom funcionamento dos escoamentos de águas pluviais. A revisão de literatura também revelou uma diversidade de metodologias disponíveis, destacando suas vantagens e desvantagens.

Foi possível identificar e entender com um pouco mais de profundidade os modelos mais utilizados entre os pesquisadores, como a equação IDF, o modelo SWMM e suas diversas ramificações, com o complemento de algoritmos e redes neurais, uso de InfoWorks, SWOF, modelos analíticos, analítico-probabilístico, entre diversas outras conjunturas. Mas, além de apenas analisar modelos, foi possível notar suas respectivas complexidades e para que tipo de sistema eram utilizados. Esse foi um fator relevante de ser avaliado, pois a grande maioria das propostas buscava medidas que analisassem meios estruturais, ou seja, que modificavam e influenciavam a estrutura como um todo. Entretanto, poucos se diferenciavam ao pesquisar formas de melhorias em alguns dos componentes dos sistemas, conseguindo uma grande melhora em pequenas mudanças. Sendo assim, uma otimização de operação as vezes pode ser melhor, por não modificar a infraestrutura real do sistema – é prática (Yang, Zhang, Liu, Huang e Xia, 2023).

Além disso, tem-se a problemática das muitas possibilidades. Quando o avanço das tecnologias se dá de maneira muito constante, as metodologias começam a se ramificar com maior frequência e por consequência tem-se uma distinção

enorme de modelos. Torna-se, portanto, muito custoso estar apto a acompanhar toda essa evolução. Criam-se métodos com maior frequência, que são mais complexos, precisam de mais dados e cada vez mais precisos, fora todas as mudanças ocasionadas na estrutura do sistema.

Com isso, fica explícito que a escolha do método de dimensionamento é tão importante quanto as demais decisões. E que o pensar sustentável vai muito além de contribuir com sistemas de drenagem sustentáveis. Tendo em vista que o seu mal dimensionamento também causa impactos negativos nas cidades, já que além da não resolução do problema, tem-se o repasse de verbas e recursos para uma proposta inadequada.

## 8 REFERÊNCIAS

Almeida, C. et al. (2020). Monitoring, sources, receptors, and control measures for 3 European Union watch list substances of emerging concern in receiving waters—A 20 year systematic review. *Science of The Total Environment*, 748, 141511.

Alonso-Martinez, M., A. Navarro-Manso, D. Castro-Fresno, F. P. Alvarez-Rabanal and J. J. D. Diaz (2014). "Improvement of a System for Catchment, Pretreatment, and Treatment of Runoff Water Using PIV Tests and Numerical Simulation." *JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING* 140(8).

Altobelli, M., S. S. Cipolla and M. Maglionico (2020). "Combined Application of Real-Time Control and Green Technologies to Urban Drainage Systems." *WATER* 12(12).

Boles, C. M. W., J. R. Frankenberger and D. N. Moriasi (2015). "TILE DRAINAGE SIMULATION IN SWAT2012: PARAMETERIZATION AND EVALUATION IN AN INDIANA WATERSHED." *TRANSACTIONS OF THE ASABE* 58(5): 1201-1213.

Bravo, J. M., A. R. Paz, W. Collischonn, C. B. Uvo, O. C. Pedrollo and S. C. Chou (2009). "Incorporating forecasts of rainfall in two hydrologic models used for medium-range streamflow forecasting." *Journal of Hydrologic Engineering* 14(5): 435-445.

BRESSIANI, DA. Hidrologia Urbana: discussão do fenômeno, comparação Brasil e EUA e aplicação de modelo a Chicago. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BRESSIANI DA, BRANDÃO JLB, MENDIONDO EM, SIVAPALAN M. Hidrologia Urbana no Brasil e nos Estados Unidos: Estudo de Caso das Cidades de São Carlos, SP, Brasil e Chicago, Illinois, EUA, In: X Simp. Bras. Rec. Hídricos do Nordeste, Fortaleza, CE, Anais CD Room, 16-19 Nov, 2010.

BRESSIANI DA, GASSMAN PW, FERNANDES JG, GARBOSSA LHP, SRINIVASAN R, BONUMA NB, MENDIONDO EM. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, p. 9-35, 2015a

BRESSIANI, DA. Coping with hydrological risks through flooding risk index, complex watershed modeling, different calibration techniques, and ensemble streamflow forecasting. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

Carbone, M., G. Garofalo, G. Nigro and P. Piro (2014). A conceptual model for predicting hydraulic behaviour of a green roof. 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND CONTROL FOR THE WATER INDUSTRY, CCWI2013. 70: 266-274.

Chen, J. Y. and B. J. Adams (2006). "A framework for urban storm water modeling and control analysis with analytical models." WATER RESOURCES RESEARCH 42(6).

COUGHLIN, J. P.; CAMPBELL, C. D.; MAYS, D. C. (2012) Infiltration and Clogging by Sand and Clay in a Pervious Concrete Pavement System. Jour. Hydrology

DIETZ, M (2007) Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions, Water Air Soil Pollut 186:351–363

DKKV(German Committee for Disaster Reduction) e UNISDR(United Nations – International Strategy for Disaster Reduction) (2010). *Emerging challenges for early warning systems in context of climate change and urbanization*. Humanitarian & Development Network, CH 1296 Coppet, Suiça, Setembro 2010.

Engineering. ASCE – American Society of Civil Engineers. V. 17. 68 -73. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais- CEMADEN. Municípios Monitorados do CEMADEN. 2022. <http://www2.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. Acesso em 03/03/2022.

Fernandez-Pato, J. and P. Garcia-Navarro (2021). "An Efficient GPU Implementation of a Coupled Overland-Sewer Hydraulic Model with Pollutant Transport." HYDROLOGY 8(4).

Ferrante, C., L. B. Ciampoli, M. C. De Falco, L. D'Ascanio, D. Presta and E. Schiattarella (2020). Can a fully integrated approach enclose the drainage system design and the flood risk analysis? Transportation Research Procedia.

Freni, G., W. Schilling, S. Sægrov, J. Milina and A. König (2002). Catchment-wide efficiency analysis of distributed stormwater management practices: The case study of Bærum (Norway). Global Solutions for Urban Drainage.

Haghbin, S. and N. Mahjouri (2023). "Quantifying and improving flood resilience of urban drainage systems based on socio-ecological criteria." JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 339.

Hamouz, V. and T. M. Muthanna (2019). Modelling of Green and Grey Roofs in Cold Climates Using EPA's Storm Water Management Model. NEW TRENDS IN URBAN DRAINAGE MODELLING, UDM 2018: 385-391.

He, X. H. and W. F. Hu (2017). "A Two-Stage Queue Model to Optimize Layout of Urban Drainage System considering Extreme Rainstorms." MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING 2017.

Helmi, N. R., B. Verbeiren, C. Wirion, A. van Griensven, I. Weerasinghe and W. Bauwens (2019). "WetSpa-Urban: An adapted version of WetSpa-Python, a suitable tool for detailed runoff calculation in urban areas." Water (Switzerland) 11(12).

Hodges, B. R., F. Liu and A. C. Rowney (2019). A New Saint-Venant Solver for SWMM. NEW TRENDS IN URBAN DRAINAGE MODELLING, UDM 2018: 582-586.

Hwang, Y. K., S. H. Kwon, E. H. Lee and J. H. Kim (2020). Development of Optimal Pump Operation Method for Urban Drainage Systems. *ADVANCES IN HARMONY SEARCH, SOFT COMPUTING AND APPLICATIONS*. 1063: 63-69.

Jansen, H. C., M. N. Bhutta, I. Javed and W. Wolters (2006). "Groundwater modelling to assess the effect of interceptor drainage and lining: Example of model application in the Eastern Sadiqia project, Pakistan." *Irrigation and Drainage Systems* 20(1): 23-40.

Khan, K. S., Kunz, R., Kleijnen, J., & Antes, G. (2008). *Systematic Reviews: CRD's Guidance for Undertaking Reviews in Health Care*. York Publishing Services Ltd.

KRON W. Flood insurance: from clients to global financial markets. *Flood Risk Management*, 2, p.68-75, 2009.

Li, H., C. X. Zhang, M. Chen, D. T. Shen and Y. Y. Niu (2023). "Data-driven surrogate modeling: Introducing spatial lag to consider spatial autocorrelation of flooding within urban drainage systems." *ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE* 161.

Li, X., X. Fang, Y. Gong, J. Li, J. Wang, G. Chen and M. H. Li (2018). "Evaluating the road-bioretenion strip system from a hydraulic perspective-Case studies." *Water (Switzerland)* 10(12).

Lin, S. S., S. F. Lu and B. H. Zhu (2014). "Development of the SWMM hydraulic parameters optimization model." *Taiwan Water Conservancy* 62(4): 104-116.

Luo, Y. Q. and B. Zeng (2017). An architecture of the simulation and prediction system of the drainage based on Neural Network. *GREEN ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT I*. 1864.

Mahmoodian, M., J. P. Carbajal, V. Bellos, U. Leopold, G. Schutz and F. Clemens (2018). "A Hybrid Surrogate Modelling Strategy for Simplification of Detailed Urban Drainage Simulators." *WATER RESOURCES MANAGEMENT* 32(15): 5241-5256.

MOLDEN D, SAKTHIVADIVEL R. Water Accounting to Assess Use and Productivity of Water, *International Journal of Water Resources Development*. 15 (1-2), pp. 55-71, 1999.

Moriassi, D. N., J. G. Arnold, G. G. Vazquez-Amábile, B. A. Engel and C. G. Rossi (2009). "Incorporation of a new shallow water table depth algorithm into SWAT2005." *Transactions of the ASABE* 52(3): 771-784.

Naresh, A. and M. G. Naik (2023). "Urban Rainfall-Runoff Modeling Using HEC-HMS and Artificial Neural Networks: A Case Study." *INTERNATIONAL JOURNAL OF MATHEMATICAL ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES* 8(3): 403-423.

NEAL JC, ATKINSON PM, HUTTON CW. Flood Inundation model updating using ensemble Kalman filter and spatially distributed measurements. *Journal of Hydrology*. 2007. 336: 401-415.

Nguyen, T. T., H. H. Ngo, W. S. Guo and X. C. Wang (2020). "A new model framework for sponge city implementation: Emerging challenges and future developments." *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT* 253.

Raimondi, A., M. G. Di Chiano, M. Marchioni, U. Sanfilippo and G. Becciu (2023). "Probabilistic modeling of sustainable urban drainage systems." *URBAN ECOSYSTEMS* 26(2): 493-502.

Saleh, M. A., A. U. Eziefula, H. Abubakar, O. O. Cynthia and M. Suleiman (2016). "Civil engineering simulation of catchment modelling with info works CS V15.0 for urban drainage design and analysis." *International Journal of Applied Engineering Research* 11(3): 2098-2107.

Sosnoski, A., M. T. L. Barros and F. Conde (2020). Reviewing Design Criteria for Flood Control Reservoir: A Case Study of Pirajucara River in the City of Sao Paulo. *WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2020: WATER, WASTEWATER, AND STORMWATER AND WATER DESALINATION AND REUSE*: 136-144.

Stecker, A. (1998). "Simulation models: Tools by planning stormwater management systems." *Zeitschrift fur Kulturtechnik und Landentwicklung* 39(6): 261-265.

SULLIVAN C. Calculating a Water Poverty Index, *World Development*. Great Britain. 30(7), pp. 1195–1210, 2002. Wang, M. M., M. Li and C. Sweetapple (2023). "A new framework for distributed storage tanks placement based on a resilience characteristic metric and reduced modelling." *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT* 342.

UN-Water. Climate Change Adaptation: the pivotal role of water. *Policy Break*. p.1-18, Julho, 2010.

TOTH Z, TALAGRAND O, CANDILLE G, ZHU Y. Probability and ensemble forecasts. In: I.T. Joliffe & D.B. Stephenson, eds. *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. New York: John Wiley & Sons, 2003, 137–163, 2003.

Wolf, J., R. Barthel and J. Braun (2008). "Modeling ground water flow in alluvial mountainous catchments on a watershed scale." *Ground Water* 46(5): 695-705.

Yang, Y. Y., W. H. Zhang, Z. Liu, D. F. Liu, Q. Huang and J. Xia (2023). "Coupling a Distributed Time Variant Gain Model into a Storm Water Management Model to Simulate Runoffs in a Sponge City." *SUSTAINABILITY* 15(4).

Yimer, E. A., F. E. Riakhi, R. T. Bailey, J. Nossent and A. van Griensven (2023). "The impact of extensive agricultural water drainage on the hydrology of the Kleine Nete watershed, Belgium." *Science of the Total Environment* 885.

Zanandrea, F. and A. L. L. da Silveira (2019). "Use of low impact development techniques to control hydrological impacts." *ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL* 24(6): 1195-1208.